

551.203  
Wul  
E 21



**EVALUASI PENGGUNAAN LENGKUNG LAJU DEBIT-  
SEDIMEN (*SEDIMENT-DISCHARGE RATING CURVE*)  
UNTUK MEMPREDIKSI SEDIMEN LAYANG**

**TESIS**

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil**

**Oleh**

**Dyah Ari Wulandari, ST  
NIM L4A.001.019**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2004**

**EVALUASI PENGGUNAAN LENGKUNG LAJU  
DEBIT-SEDIMENT (*SEDIMENT-DISCHARGE RATING CURVE*)  
UNTUK MEMPREDIKSI SEDIMEN LAYANG**


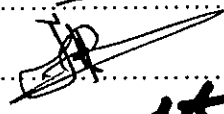
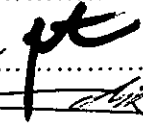
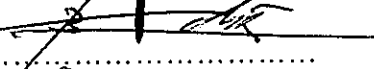

Disusun Oleh

**DYAH ARI WULANDARI**  
NIM : L4A.001.019

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :  
07 Januari 2004

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji :

- |               |                                  |   |
|---------------|----------------------------------|---|
| 1. Ketua      | : Dr. Ir. SURIPIN, M.Eng.        |     |
| 2. Sekretaris | : Ir. SALAMUN, MS                |    |
| 3. Anggota 1  | : Dr. Ir. SUHARYANTO, M.Sc.      |  |
| 4. Anggota 2  | : Ir. SYAFRUDIN, CES, MT         |   |
| 5. Anggota 3  | : Ir. PRANOTO S.A., Dipl. HE, MT |   |

Semarang, 16-03-04  
Universitas Diponegoro  
Program Pascasarjana  
Magister Teknik Sipil



## ABSTRAKSI

Lengkung laju debit - sedimen (*sediment - discharge rating curve*) sudah lama dikenal dan digunakan dalam memprediksi besarnya debit sedimen layang. Korelasi yang didapat biasanya diturunkan dari persamaan regresi antara debit aliran dan debit sedimen layang dengan data sampel yang terbatas (sesaat). Idealnya pengambilan sampel debit aliran dan konsentrasi sedimen ini dilakukan secara menerus/ kontinu karena sedimen layang lebih ditentukan dari sumbernya (laju erosi lahan dibagian hulu daerah aliran sungainya), tetapi pada prakteknya pengambilan sampel dilakukan secara tidak kontinu/ insidental mengingat biayanya yang mahal. Dengan adanya keterbatasan ini pemakaian lengkung laju debit sedimen dalam memprediksi besarnya sedimen layang akan menunjukkan adanya kesalahan, sehingga perlu kiranya diteliti seberapa jauh tingkat akurasi penggunaan teknik ini untuk memprediksi besarnya debit sedimen layang dan bagaimana cara memprediksi besarnya debit sedimen layang dengan tingkat akurasi yang lebih baik. Penelitian ini ditekankan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dalam memprediksi besarnya debit sedimen layang dengan menggunakan lengkung laju debit - sedimen serta merumuskan metode perbaikannya. Metode yang digunakan adalah dengan cara membandingkan sedimen yang masuk ke dalam waduk yang dihitung berdasarkan sedimen layang yang masuk waduk melalui alur-alur sungai dan berdasarkan selisih kapasitas waduk antara dua periode pengukuran dengan metode *echo sounding*. Data yang digunakan adalah data dari Waduk PLTA PB. Sudirman, Jawa tengah.

Hasil yang didapat pada penelitian ini adalah data yang digunakan untuk menurunkan persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) yang digunakan sekarang (tahun 2002) menghasilkan prakiraan sedimen waduk yang lebih besar dari sedimen waduk pengukuran. Penggunaan debit harian kontinu (sesudah dikoreksi) menghasilkan kesalahan yang lebih kecil daripada penggunaan debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran (sebelum dikoreksi), perbedaannya antara 13,53 % sampai 24,44 %. Pemakaian lengkung laju debit-sedimen dengan diskritisasi waktu yang lebih pendek (data dibagi menjadi dua periode musim) menghasilkan kesalahan yang lebih kecil daripada pemakaian lengkung laju debit-sedimen dengan diskritisasi waktu yang lebih panjang (periode 11 bulan).

Perhitungan yang selama ini dilakukan akan lebih baik lagi hasilnya apabila data yang digunakan merupakan data berkala yang kontinu dengan diukur menggunakan alat ukur yang otomatis. Persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) dikembangkan untuk periode tiap bulan karena dengan diskritisasi waktu yang pendek data sampel akan lebih homogen dan mewakili karakteristik yang ada. Debit aliran rata-rata harian sebaiknya menggunakan data yang kontinu karena dengan menggunakan data debit dari nilai rata-rata tiga waktu pengukuran tidak mewakili debit yang sebenarnya terutama apabila terjadi banjir diluar jam-jam pengukuran tersebut.

## ABSTRACT

Sediment-discharge rating curve is well known method in predicting suspended sediment discharge. The correlation is usually developed as a relationship between suspended sediment load and discharge. Ideally, the measured of discharge and sediment concentration are carried out continuously, as suspended sediment load is more depended on the sources, i.e. the erosion rate on the catchment rather than the river hydraulic. In practice, the discharge and sediment concentration are carried out intermittently or in spot, as it is time and cost consuming. The use of sediment-discharge rating curve to predict suspended sediment may generate an error. The question is how the error will be generated by the application of sediment-discharge rating curve, and how the efforts to eliminate this error.

This study is stressed to evaluate the accuracy of sediment-discharge rating curve in predicting suspended sediment.

The method used was by comparing sediment inflow to reservoir. Sediment was calculated based on two ways, i.e. based on suspended sediment transport from rivers, and based on the difference of measurement reservoir capacity at two periods measurement. The method is implemented at PLTA PB. Sudirman Reservoir, Central Java.

The result showed that the present sediment-discharge rating curve (year 2002) produced sediment Reservoir estimation higher than that was measured. By using continue daily discharge (after corrected) the error produced was less than using the daily discharge from average three points measurement (before corrected). The different varied from 13.53 % to 24.44%. The using sediment-discharge rating curve with short time discretion data pairs (data pairs are separated into two periods season) the error produced was less than using the sediment discharge rating curve with long time discretion data pairs (period 11 months).

The estimation may be better if the sample data was taken from continuous data pairs. The sediment-discharge rating curve was developed monthly, the sample is more homogenous and represents characteristic. It is better to use continuous discharge records of daily mean flow as the use of three points measurements does not represent the exact discharge especially when flood occurred out of the measurement time.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT dengan telah tersusunnya *Tesis* mengenai Evaluasi Penggunaan Lengkung Laju Debit-Sedimen (*Sediment-Discharge rating Curve*) Untuk Memprediksi Sedimen Layang yang merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan studi di Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada DIKTI yang telah memberikan beasiswa BPPS untuk menempuh studi Pascasarjana, Dr. Ir. Suripin M.Eng. dan Ir. Salamun M.S. selaku pembimbing atas petunjuk, bimbingan dan sarannya, Dr. Ir. Suharyanto, M.Sc., Ir. Syafrudin, CES., MT dan Ir. Pranoto S.A. Dipl. HE., MT selaku penguji, suami dan anak-anak yang tercinta, Bagian Monitoring Hidrologi dan Geoteknik UPB Mrica serta rekan-rekan yang telah membantu di dalam pembuatan *Tesis* ini.

Akhir kata, semoga *Tesis* ini dapat bermanfaat baik bagi diri penulis maupun pembaca dan penelitian-penelitian di masa mendatang.

Semarang, Januari 2004

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAKSI	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Sasaran Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Batasan Masalah	3
1.7 Metode dan Pendekatan	3
1.8 Diskripsi Wilayah Studi	4
1.9 Sistematika Penulisan Tesis	8
 BAB II PENDEKATAN TEORI DAN METODE PREDIKSI SEDIMEN LAYANG	
2.1 Sedimen Layang	9
2.1.1 Distribusi Sedimen	9
2.1.2 Pengambilan Sampel Sedimen Layang	11
2.1.3 Rumus Perhitungan Sedimen Layang	11
2.2 <i>Load Interval Flow-Duration Technique</i>	12
2.3 Lengkung Laju Debit Sedimen	12
2.4 Efisiensi Tangkapan Sedimen ( <i>Trap Efficiency</i> )	13
2.5 Perhitungan Sedimentasi Waduk	14
2.6 Sedimen Dasar	16
2.7 Statistik	16
2.7.1 Parameter Statistik	17

2.7.2 Penentuan Sampel	18
2.7.3 Persamaan Regresi Linier	20
2.7.4 Koefisien Determinasi	22
2.7.5 Korelasi	23
2.7.6 Pengujian Hasil	23
 BAB III METODOLOGI	
3.1 Pengumpulan Data	24
3.2 Pengolahan/ Analisa Data	25
 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Perhitungan Debit Sedimen Layang	29
4.2 Perhitungan Debit Aliran Rata-rata Harian Kontinu	29
4.3 Penurunan Persamaan Regresi (Lengkung Laju Debit-Sedimen)	30
4.3.1 Persamaan Regresi (Lengkung Laju Debit-Sedimen) Dengan Menggunakan Semua Data Yang Ada (Periode 11 Bulan)	31
4.3.2 Persamaan Regresi (Lengkung Laju Debit-Sedimen) Dengan Menggunakan Data Yang Dibagi Menjadi Dua Periode Musim	37
4.4 Perhitungan Sedimen Layang	45
4.4.1 Perhitungan Sedimen Layang Melalui Alur Sungai Serayu	47
4.4.2 Perhitungan Sedimen Layang Melalui Alur Sungai Merawu	49
4.4.3 Perhitungan Sedimen Layang Melalui Alur Sungai Lumajang	51
4.5 Perhitungan Angkutan Sedimen Layang Yang Mengendap di Waduk	52
4.6 Perhitungan Sedimen dasar	54
4.7 Perhitungan Sedimen Yang Mengendap di Waduk	55
4.8 Kontrol Data Untuk Persamaan Regresi	57
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63
 DAFTAR PUSTAKA	65

## LAMPIRAN

A. DATA	67
B. PARAMETER STATISTIK	81
C. KOREKSI DEBIT	112
D. KURVA MASSA DEBIT	130
E. PERHITUNGAN DEBIT SEDIMEN LAYANG	146
F. PERKEMBANGAN SEDIMENTASI WADUK	197



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1	Prosentase Muatan Dasar Terhadap Muatan Suspensi Total	16
4.1	Debit aliran, konsentrasi sedimen dan debit sedimen layang	29
4.2	Rekapitulasi perhitungan koreksi debit sungai Serayu	30
4.3	Persamaan regresi dengan menggunakan semua data yang ada	37
4.4	Persamaan regresi menggunakan data yang dibagi menjadi dua periode musim	45
4.5	Hasil perhitungan debit aliran sungai Serayu	47
4.6	Hasil perhitungan sedimen layang melalui alur sungai Serayu	48
4.7	Hasil perhitungan debit aliran sungai Merawu	49
4.8	Hasil perhitungan sedimen layang melalui alur sungai Merawu	50
4.9	Hasil perhitungan debit aliran sungai Lumajang	51
4.10	Hasil perhitungan sedimen layang melalui alur sungai Lumajang	52
4.11	Perhitungan <i>Trap Efficiency</i>	53
4.12	Perhitungan Sedimen Layang Yang Mengendap di Waduk	54
4.13	Perhitungan Sedimen Dasar Yang Masuk Waduk	55
4.14	Perhitungan Sedimen Yang Mengendap di Waduk	56
4.15	Rekapitulasi perhitungan kesalahan baku (SE)	58
4.16	Rekapitulasi perhitungan uji homogenitas	60
4.17	Rekapitulasi perhitungan uji data <i>outlier</i>	61
A-1	Pengukuran konsentrasi sedimen layang sungai Serayu	67
A-2	Pengukuran konsentrasi sedimen layang sungai Merawu	68
A-3	Pengukuran konsentrasi sedimen layang sungai Lumajang	69
A-4	Debit aliran harian rata-rata sungai Serayu di pos Banjarnegara bulan Nop 1989 sampai dengan Okt 1990	70
A-5	Debit aliran harian rata-rata sungai Merawu di pos Clangap bulan Nop 1989 sampai dengan Okt 1990	71

No.	Judul	Halaman
A-6	Debit aliran harian rata-rata sungai Lumajang di pos Linggasari bulan Nop 1989 sampai dengan Okt 1990	72
A-7	Debit aliran harian rata-rata Inflow waduk Mrica bulan Nop 1989 sampai dengan Okt 1990	73
A-8	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Januari 2000	74
A-9	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Pebruari 2000	74
A-10	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Maret 2000	75
A-11	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu April 2000	75
A-12	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Mei 2000	76
A-13	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Juni 2000	76
A-14	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Juli 2000	77
A-15	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Agustus 2000	77
A-16	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu September 2000	78
A-17	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Oktober 2000	78
A-18	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Nopember 2000	79
A-19	Tinggi muka air jam-jaman sungai Serayu Desember 2000	79
B-1	Perhitungan sedimen layang sungai Serayu	80
B-2	Perhitungan sedimen layang sungai Merawu	81
B-3	Perhitungan sedimen layang sungai Lumajang	82
B-4	Perhitungan statistik debit aliran sungai Serayu di pos Banjarnegara	83
B-5	Perhitungan statistik debit sedimen sungai Serayu di pos Banjarnegara	84
B-6	Perhitungan statistik debit aliran sungai Merawu di pos Clangap	85
B-7	Perhitungan statistik debit sedimen sungai Merawu di pos Clangap	86
B-8	Perhitungan statistik debit aliran sungai Lumajang di pos Linggasari	87
B-9	Perhitungan statistik debit sedimen sungai Lumajang di pos Linggasari	88
B-10	Perhitungan statistik homogenitas Qw sungai Serayu sub kelompok 1	89
B-11	Perhitungan statistik homogenitas Qw sungai Serayu sub kelompok 2	89
B-12	Perhitungan statistik homogenitas Qs sungai Serayu sub kelompok 1	90
B-13	Perhitungan statistik homogenitas Qs sungai Serayu sub kelompok 2	90
B-14	Perhitungan statistik homogenitas Qw sungai Merawu sub kelompok 1	91
B-15	Perhitungan statistik homogenitas Qw sungai Merawu sub kelompok 2	91

No.	Judul	Halaman
B-16	Perhitungan statistik homogenitas Qs sungai Merawu sub kelompok 1	92
B-17	Perhitungan statistik homogenitas Qs sungai Merawu sub kelompok 2	92
B-18	Perhitungan statistik homogenitas Qw sungai Lumajang sub kelompok 1	93
B-19	Perhitungan statistik homogenitas Qw sungai Lumajang sub kelompok 2	93
B-20	Perhitungan statistik homogenitas Qs sungai Lumajang sub kelompok 1	94
B-21	Perhitungan statistik homogenitas Qs sungai Lumajang sub kelompok 2	94
B-22	Uji homogenitas	95
B-23	Uji data <i>Outlier</i>	95
B-24	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu (kurva berpangkat)	96
B-25	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu (kurva berpangkat)	97
B-26	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Lumajang (kurva berpangkat)	98
B-27	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu (kurva eksponensial)	99
B-28	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu (kurva eksponensial)	100
B-29	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Lumajang (kurva eksponensial)	101
B-30	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu (kurva logaritma)	102
B-31	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu (kurva logaritma)	103
B-32	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Lumajang (kurva logaritma)	104
B-33	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu periode musim hujan (kurva berpangkat)	105
B-34	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu periode musim kemarau (kurva berpangkat)	105

No.	Judul	Halaman
B-35	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu periode musim hujan (kurva berpangkat)	106
B-36	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu periode musim kemarau (kurva berpangkat)	106
B-37	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu periode musim hujan (kurva eksponensial)	107
B-38	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu periode musim kemarau (kurva eksponensial)	107
B-39	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu periode musim hujan (kurva eksponensial)	108
B-40	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu periode musim kemarau (kurva eksponensial)	108
B-41	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu periode musim hujan (kurva logaritma)	109
B-42	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Serayu periode musim kemarau (kurva logaritma)	109
B-43	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu periode musim hujan (kurva logaritma)	110
B-44	Perhitungan statistik lengkung laju debit-sedimen sungai Merawu periode musim kemarau (kurva logaritma)	110
C-1	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Januari 2000	111
C-2	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Pebruari 2000	111
C-3	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Maret 2000	112
C-4	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara April 2000	112
C-5	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Mei 2000	113
C-6	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Juni 2000	113
C-7	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Juli 2000	114
C-8	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Agustus 2000	114
C-9	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara September 2000	115
C-10	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Oktober 2000	115
C-11	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Nopember 2000	116

No.	Judul	Halaman
C-12	Perhitungan debit kontinu sungai Serayu-Banjarnegara Desember 2000	116
C-13	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Januari	117
C-14	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Pebruari	118
C-15	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Maret	119
C-16	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan April	120
C-17	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Mei	121
C-18	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Juni	122
C-19	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Juli	123
C-20	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Agustus	124
C-21	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan September	125
C-22	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Oktober	126
C-23	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Nopember	127
C-24	Perhitungan koreksi debit sungai Serayu Bulan Desember	128
D-1	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Serayu Bulan Nopember 1989 – Pebruari 1990	129
D-2	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Serayu Bulan Maret 1990 – Juni 1990	130
D-3	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Serayu Bulan Juli 1990 – Oktober 1990	131
D-4	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Merawu Bulan Nopember 1989 – Pebruari 1990	132
D-5	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Merawu Bulan Maret 1990 – Juni 1990	133
D-6	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Merawu Bulan Juli 1990 – Oktober 1990	134
D-7	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Lumajang Bulan Nopember 1989 – Pebruari 1990	135
D-8	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Lumajang Bulan Maret 1990 – Juni 1990	136
D-9	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit aliran harian rata-rata sungai Lumajang Bulan Juli 1990 – Oktober 1990	137

No.	Judul	Halaman
D-10	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit inlow aliran harian rata-rata waduk Mrica Bulan Nopember 1989 – Pebruari 1990	138
D-11	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit inlow aliran harian rata-rata waduk Mrica Bulan Maret 1990 – Juni 1990	139
D-12	Perhitungan Frekuensi kumulatif debit inlow aliran harian rata-rata waduk Mrica Bulan Juli 1990 – Oktober 1990	140
E-1	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Nop 1989	145
E-2	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Des 1989	146
E-3	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Jan 1990	147
E-4	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Peb 1990	148
E-5	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Mar 1990	149
E-6	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Apr 1990	150
E-7	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Mei 1990	151
E-8	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Juni 1990	152
E-9	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Juli 1990	153
E-10	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Ags 1990	154
E-11	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Sept 1990	155
E-12	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Serayu Okt 1990	156
E-13	Debit aliran dan sedimen layang yang masuk waduk melalui sungai Serayu Nop 1989 – Okt 1990	157
E-14	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Nop 1989	158
E-15	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Des 1989	159
E-16	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Jan 1990	160
E-17	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Peb 1990	161
E-18	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Mar 1990	162
E-19	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Apr 1990	163
E-20	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Mei 1990	164
E-21	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Juni 1990	165
E-22	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Juli 1990	166
E-23	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Ags 1990	167
E-24	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Sept 1990	168

No.	Judul	Halaman
E-25	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Merawu Okt 1990	169
E-26	Debit aliran dan sedimen layang yang masuk waduk melalui sungai Merawu Nop 1989 – Okt 1990	170
E-27	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Nop 1989	171
E-28	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Des 1989	172
E-29	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Jan 1990	173
E-30	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Peb 1990	174
E-31	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Mar 1990	175
E-32	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Apr 1990	176
E-33	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Mei 1990	177
E-34	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Juni 1990	178
E-35	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Juli 1990	179
E-36	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Ags 1990	180
E-37	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Sept 1990	181
E-38	Debit aliran dan debit sedimen layang harian rata-rata sungai Lumajang Okt 1990	182
E-39	Debit aliran dan sedimen layang yang masuk waduk melalui sungai Lumajang Nop 1989 – Okt 1990	183
E-40	Hitungan konsentrasi sedimen layang $Q_{sps1}$ untuk sungai Serayu, Merawu dan Lumajang	184

No.	Judul	Halaman
E-41	Hitungan konsentrasi sedimen layang $Q_{sps2}$ untuk sungai Serayu, Merawu dan Lumajang	185
E-42	Hitungan konsentrasi sedimen layang $Q_{sps3}$ untuk sungai Serayu, Merawu dan Lumajang	186
E-43	Hitungan konsentrasi sedimen layang $Q_{spt1}$ untuk sungai Serayu, Merawu dan Lumajang	187
E-44	Hitungan konsentrasi sedimen layang $Q_{spt2}$ untuk sungai Serayu, Merawu dan Lumajang	188
E-45	Hitungan konsentrasi sedimen layang $Q_{spt3}$ untuk sungai Serayu, Merawu dan Lumajang	189
E-46	Debit aliran harian rata-rata Waduk Nop 1989	190
E-47	Debit aliran harian rata-rata Waduk Des 1989	190
E-48	Debit aliran harian rata-rata Waduk Jan 1990	191
E-49	Debit aliran harian rata-rata Waduk Peb 1990	191
E-50	Debit aliran harian rata-rata Waduk Mar 1990	192
E-51	Debit aliran harian rata-rata Waduk Apr 1990	192
E-52	Debit aliran harian rata-rata Waduk Mei 1990	193
E-53	Debit aliran harian rata-rata Waduk Juni 1990	193
E-54	Debit aliran harian rata-rata Waduk Juli 1990	194
E-55	Debit aliran harian rata-rata Waduk Ags 1990	194
E-56	Debit aliran harian rata-rata Waduk Sept 1990	195
E-57	Debit aliran harian rata-rata Waduk Okt 1990	195
E-58	Inflow waduk Nop 1989 – Okt 1990	196



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
1.1	Peta lokasi waduk PB Sudirman	5
1.2	Peta situasi waduk PB Sudirman	6
1.3	Daerah tangkapan air waduk PB Sudirman	7
2.1	Distribusi vertikal sedimen dan komponen sedimen total	10
2.2	Distribusi vertikal konsentrasi sedimen menurut jenis partikelnya	10
2.3	Efisiensi Tangkapan Sedimen Menurut Brune	14
3.1	Bagan Alir Penelitian	27
3.2	Bagan alir proses perhitungan sedimentasi waduk	28
4.1	Diagram scatter log Qw - log Qs sungai Serayu	31
4.2	Diagram scatter Qw - Ln Qs sungai Serayu	32
4.3	Diagram scatter Ln Qw - Qs sungai Serayu	33
4.4	Diagram scatter log Qw - log Qs sungai Merawu	33
4.5	Diagram scatter Qw - Ln Qs sungai Merawu	34
4.6	Diagram scatter Ln Qw - Qs sungai Merawu	35
4.7	Diagram scatter log Qw - log Qs sungai Lumajang	35
4.8	Diagram scatter Qw - Ln Qs sungai Lumajang	36
4.9	Diagram scatter Ln Qw - Qs sungai Lumajang	36
4.10	Diagram scatter log Qw - log Qs sungai Serayu periode musim hujan	38
4.11	Diagram scatter log Qw - log Qs sungai Serayu periode musim kemarau	38
4.12	Diagram scatter Qw - Ln Qs sungai Serayu periode musim hujan	39
4.13	Diagram scatter Qw - Ln Qs sungai Serayu periode musim kemarau	39
4.14	Diagram scatter Ln Qw - Qs sungai Serayu periode musim hujan	40
4.15	Diagram scatter Ln Qw - Qs sungai Serayu periode musim kemarau	40
4.16	Diagram scatter log Qw - log Qs sungai Merawu periode musim hujan	41
4.17	Diagram scatter log Qw - log Qs sungai Merawu periode musim kemarau	42
4.18	Diagram scatter Qw - Ln Qs sungai Merawu periode musim hujan	42
4.19	Diagram scatter Qw - Ln Qs sungai Merawu periode musim kemarau	43
4.20	Diagram scatter Ln Qw - Qs sungai Merawu periode musim hujan	44
4.21	Diagram scatter Ln Qw - Qs sungai Merawu periode musim kemarau	44

No.	Judul	Halaman
4.22	Grafik data sampel log Qw dan log Qs sungai Serayu	58
4.23	Grafik data sampel log Qw dan log Qs sungai Merawu	59
4.24	Grafik data sampel log Qw dan log Qs sungai Lumajang	59
D-1	Kurva massa debit sungai Serayu Nop 1989 – Okt 1990 yang belum dikoreksi	141
D-2	Kurva massa debit sungai Serayu Nop 1989 – Okt 1990 yang sudah dikoreksi	141
D-3	Kurva massa debit sungai Merawu Nop 1989 – Okt 1990 yang belum dikoreksi	142
D-4	Kurva massa debit sungai Merawu Nop 1989 – Okt 1990 yang sudah dikoreksi	142
D-5	Kurva massa debit sungai Lumajang Nop 1989 – Okt 1990 yang belum dikoreksi	143
D-6	Kurva massa debit sungai Lumajang Nop 1989 – Okt 1990 yang sudah dikoreksi	143
D-7	Kurva massa debit Waduk PB Sudirman Nop 1989 – Okt 1990 yang belum dikoreksi	144
D-8	Kurva massa debit Waduk PB Sudirman Nop 1989 – Okt 1990 yang sudah dikoreksi	144
F-1	Penampang memanjang perkembangan sedimentasi waduk PB Sudirman pada as sungai Serayu	197

## DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

### Lambang dan Notasi

$a$	koefisien regresi
$A_i$	luas bidang kontur ke $i$
$A_{i+1}$	luas bidang kontur ke $i+1$
$b$	koefisien regresi
$C$	konsentrasi sedimen
$C_s$	koefisien kemencengan
$E$	kesalahan/ <i>Error</i>
$H_i$	elevasi garis kontur ke $i$
$H_{i+1}$	elevasi garis kontur ke $i+1$
$K_n$	faktor frekwensi data outlier
$n$	jumlah sampel
$Q_s$	debit sedimen
$Q_{sd}$	debit sedimen layang data pengukuran lapangan
$Q_{sp}$	debit sedimen layang hasil perhitungan
$Q_{sps1}$	sedimen layang yang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi asal berdasarkan debit aliran harian rata-rata yang belum dikoreksi
$Q_{sps2}$	sedimen layang yang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi periode 11 bulan berdasarkan debit aliran harian rata-rata yang belum dikoreksi
$Q_{sps3}$	sedimen layang yang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi periode 2 musim berdasarkan debit aliran harian rata-rata yang belum dikoreksi
$Q_{spt1}$	sedimen layang yang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi asal berdasarkan debit aliran harian rata-rata yang sudah dikoreksi
$Q_{spt2}$	sedimen layang yang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi periode 11 bulan berdasarkan debit aliran harian rata-rata yang sudah dikoreksi
$Q_{spt3}$	sedimen layang yang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi periode 2 musim berdasarkan debit aliran harian rata-rata yang sudah dikoreksi

$Q_w$	debit aliran
$r$	koefisien korelasi
$r^2$	determinasi
$S$	simpangan baku
$SE$	prakiraan kesalahan baku
$t_c$	harga frekwensi yang mengikuti distribusi student t
$t_{(1-\alpha)(n_1+n_2-2)}$	harga frekwensi distribusi student t dengan tingkat kepercayaan $(1-\alpha)$ dan derajat kebebasan $(n_1+n_2-2)$
$V$	volume tampungan antara garis kontur ke i dan i+1
$V_{T1}$	volume genangan pada pengukuran $T_1$
$V_{T2}$	volume genangan pada pengukuran $T_2$
$V_w$	volume tampungan waduk
$V_{\Delta T}$	volume sedimen dalam selang waktu $\Delta T$
$x$	variabel bebas
$x_i$	data pengamatan di lapangan
$X_h$	batas atas data tertinggi
$X_i$	nilai individu dalam sampel
$X_i$	nilai sampel pada data sebanyak $n_1$
$X_j$	nilai sampel pada data sebanyak $n_2$
$X_L$	batas bawah data terendah
$\bar{x}$	nilai rata-rata dari data pengamatan di lapangan
$\bar{X}$	prakiraan nilai rata-rata
$y$	variabel tidak bebas
$y_i$	data pengamatan di lapangan
$\bar{y}$	nilai rata-rata dari data pengamatan di lapangan
$\Delta T$	selang waktu
$\beta_0, \beta_1$	koefisien regresi

### Singkatan

<b>AWLR</b>	Automatic Water Level Recording
<b>DPS</b>	Daerah Pengaliran Sungai
<b>DTA</b>	Daerah Tangkapan Air

<b>PB</b>	Panglima Besar
<b>PLTA</b>	Pembangkit Listrik Tenaga Air
<b>UGM</b>	Universitas Gajah Mada
<b>USBR</b>	United State Bureau of Reclamation
<b>US-DH.48</b>	United State Depth Integrating Hand Held 48
<b>US-D.59</b>	United State Depth Integrating 59
<b>US-D.74</b>	United State Depth Integrating 74
<b>US-P.46</b>	United State Point Integrating 46
<b>US-P.61</b>	United State Point Integrating 61

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sedimen layang adalah sedimen yang bergerak melayang diatas dasar sungai terbawa bersama aliran air. Sedimen layang sangat dipengaruhi oleh laju erosi lahan di bagian hulu daerah aliran sungainya, pada daerah hilir keberadaan sedimen layang akan menimbulkan dampak negatif seperti penurunan kualitas air, pendangkalan sungai, pengurangan kapasitas waduk dan lain sebagainya. Besar kecilnya debit sedimen layang juga dapat digunakan sebagai tolok ukur adanya kerusakan pada suatu Daerah Pengaliran Sungai (DPS).

Untuk memprediksi besarnya sedimen layang biasanya dilakukan pengambilan sampel berupa debit aliran dan konsentrasi sedimen. Dari data sampel yang ada dapat dihitung debit sedimen layangnya yang merupakan hasil perkalian dari konsentrasi sedimen dengan debit aliran. Kemudian dicari hubungan antara debit aliran dan debit sedimen layang dengan menggunakan persamaan regresi, hubungan ini dikenal dengan lengkung laju debit - sedimen (*sediment - discharge rating curve*).

Idealnya pengambilan sampel debit aliran dan konsentrasi sedimen ini dilakukan secara menerus/ kontinu karena besarnya sedimen layang lebih ditentukan dari sumbernya (laju erosi lahan di bagian hulu daerah aliran sungainya) bukan kapasitas sungainya (erosi di sungai, sepanjang pengalirannya), tetapi pada prakteknya pengambilan sampel dilakukan secara tidak kontinu/ insidental mengingat biayanya yang mahal. Dengan adanya keterbatasan ini pemakaian lengkung laju debit-sedimen dalam memprediksi besarnya sedimen layang akan menunjukkan adanya kesalahan-kesalahan dan mempengaruhi akurasi. Sehingga dalam memprediksi besarnya sedimen layang perlu kiranya ada suatu pendekatan yang lebih baik dalam pemakaian lengkung laju debit-sedimen, untuk mendapatkan hasil yang mendekati benar.

Walling (1977) dalam Fan dan Morris (1997), menyatakan bahwa pemakaian *rating curve* yang diturunkan dari data konsentrasi sedimen dan debit aliran sesaat digabungkan dengan rangkaian data debit harian rata-rata akan menghasilkan perkiraan hasil sedimen (*sediment yield*) lebih kecil

50 persen untuk aliran yang terkecil. Hal ini dikarenakan aliran harian rata-rata tidak mewakili debit puncak.

Suripin (2000), menyatakan bahwa penerapan metode lengkung laju debit – sedimen ini pada tiga sungai (sungai Dolok, sungai lusi dan sungai Kedungwaru) menunjukkan bahwa kesalahan yang cukup signifikan dapat timbul dari kurang hati-hatian penggunaan debit harian rata-rata. Penggunaan debit harian rata-rata dapat menyebabkan kesalahan 50 % atau lebih.

## 1.2 Perumusan Masalah

Lengkung laju debit - sedimen (*sediment - discharge rating curve*) ini sudah lama dikenal dan digunakan dalam memprediksi besarnya debit sedimen layang. Korelasi yang didapat biasanya diturunkan dari persamaan regresi antara debit aliran dan debit sedimen layang dengan data sampel yang terbatas (sesaat). Sehingga permasalahannya adalah seberapa jauh tingkat akurasi penggunaan teknik ini untuk memprediksi besarnya debit sedimen layang dan bagaimana cara memprediksi besarnya debit sedimen layang dengan tingkat akurasi yang lebih baik.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini ditekankan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dalam memprediksi besarnya debit sedimen layang dengan menggunakan lengkung laju debit - sedimen (*flow duration – sediment rating curve technique*) serta merumuskan metode perbaikannya.

## 1.4 Sasaran Penelitian

Sasaran dari penelitian ini adalah :

- Untuk mencari debit harian rata-rata yang akurat berdasarkan data AWLR.
- Untuk mencari model regresi antara debit aliran dan debit sedimen layang yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya debit sedimen layang
- Untuk mengetahui tingkat akurasi dalam memprediksi besarnya debit sedimen layang dengan menggunakan lengkung laju debit - sedimen

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki cara memprediksi sedimen layang yang selama ini berlaku.

## 1.6 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah :

- Data yang digunakan adalah data sekunder dari Waduk Panglima Besar Sudirman, Jawa Tengah.
- Sedimen layang diprediksi dengan menggunakan lengkung laju debit-sedimen layang.
- Sebagai pembanding tingkat akurasi, sedimen yang mengendap di waduk dihitung sebagai selisih kapasitas waduk antara dua periode pengukuran yang menggunakan metode *echo sounding*.

## 1.7 Metode dan Pendekatan

Pada dasarnya sedimen yang masuk ke dalam waduk dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

- a. Sedimen yang masuk ke dalam waduk dihitung berdasarkan sedimen layang yang masuk melalui alur-alur sungai dengan menggunakan data debit berupa kurva massa debit (lingkung waktu aliran) bersama-sama dengan lengkung laju debit-sedimen layang.
- b. Sedimen yang masuk ke dalam waduk dihitung berdasarkan selisih kapasitas waduk antara dua periode pengukuran yang menggunakan metode *echo sounding*.

Dengan membandingkan antara dua cara diatas maka akan didapat tingkat akurasinya, dimana cara b dianggap lebih akurat.



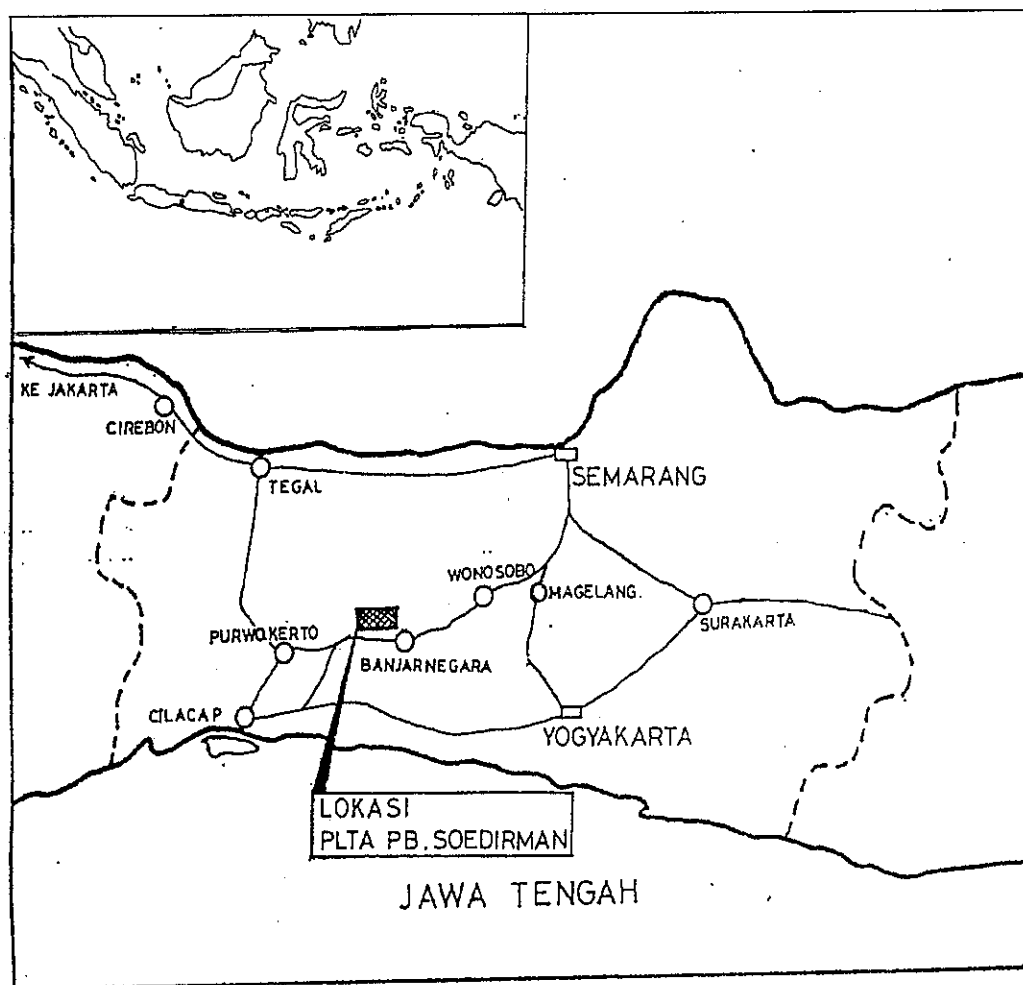
## 1.8 Diskripsi Wilayah Studi

Waduk Panglima Besar Sudirman terletak di daerah aliran sungai Serayu bagian hulu, di Kecamatan Bawang Kabupaten Banjarnegara, Propinsi Jawa Tengah. Peta lokasi Waduk dan sketsa situasi Waduk dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan 1.2 berikut. Waduk Panglima Besar Sudirman digenangi untuk yang pertama kali (*first impounding*) pada bulan April 1988, dengan luas genangan  $8.258.253 \text{ m}^2$  pada ketinggian muka air waduk + 231 m diatas muka air laut. Kapasitas waduk awal adalah 148,287 juta  $\text{m}^3$  sedang kapasitas pada periode pengukuran tahun 2002 sebesar 83,946 juta  $\text{m}^3$  (Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk P.B. Sudirman, 2002).

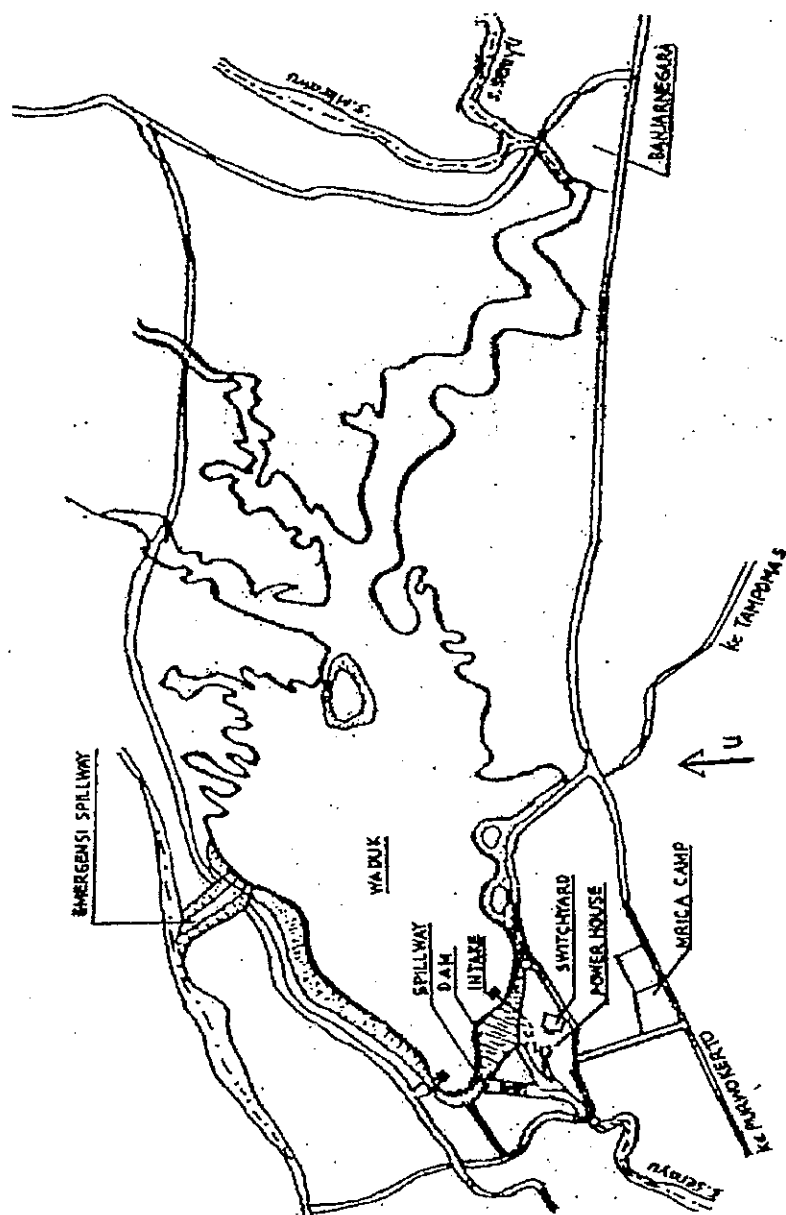
Luas daerah tangkapan Waduk P.B. Sudirman adalah  $956,91 \text{ km}^2$  yang terdiri dari :

- DTA Serayu meliputi sungai Serayu, sungai Tulis dan sungai Begaluh seluas  $678,31 \text{ km}^2$
- DTA Merawu meliputi sungai Merawu dan sungai Urang seluas  $218,60 \text{ km}^2$
- DTA Lumajang seluas  $8,00 \text{ km}^2$
- DTA Waduk meliputi daerah sekitar waduk dan sungai-sungai kecil di sekitar waduk seluas  $52,00 \text{ km}^2$

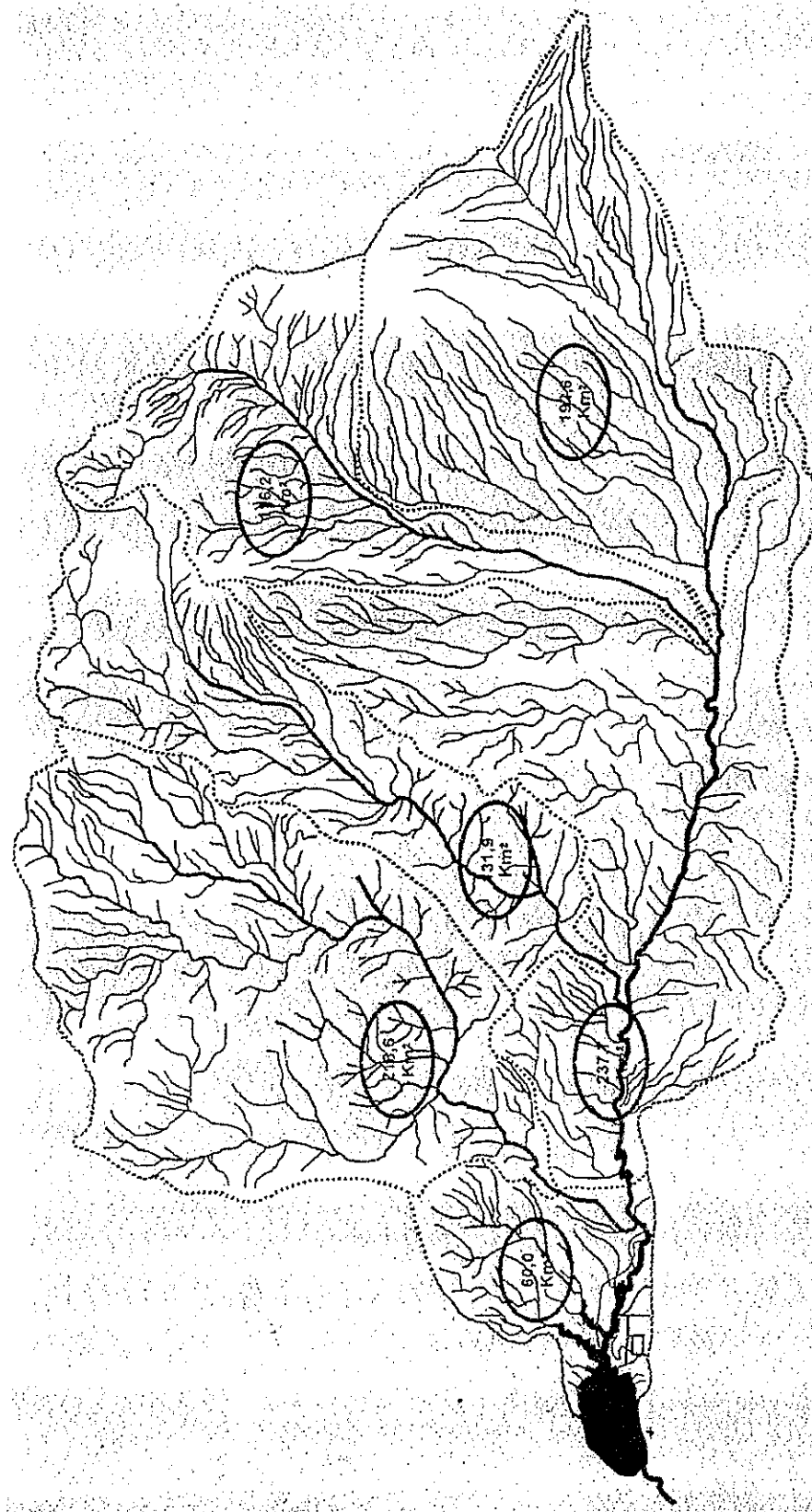
Sketsa Daerah Tangkapan Waduk P.B. Sudirman dapat dilihat pada Gambar 1.3 berikut.



Gambar 1.1 Peta lokasi Waduk Panglima Besar Sudirman



Gambar 1.2 Sketsa situasi Waduk PB Sudirman



Gambar 1.3 Sketsa daerah tangkapan air Waduk PB Sudirman

## 1.9 Sistematika Penulisan Tesis

Sistematika dalam penulisan Tesis dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian awal, bagian bagian utama dan bagian akhir.

### a. Bagian Awal

Bagian awal terdiri dari lembar judul, lembar pengesahan, abstrak, kata pengantar, ucapan terima kasih, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar dan daftar lambang, notasi dan singkatan.

### b. Bagian Utama

Bagian utama terdiri dari beberapa bab yaitu :

- Bab I Pendahuluan, berisi mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, sasaran penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, metode dan pendekatan, diskripsi wilayah studi serta sistematika penulisan tesis.
- Bab II Dasar Teori, yang memuat tentang teori-teori/ hasil-hasil penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.
- Bab III Metodologi, berisi mengenai teknik pengumpulan data dan langkah-langkah dalam pengolahan/ analisa data.
- Bab IV Analisa dan Pembahasan, berisi mengenai proses perhitungan/ pengolahan data sesuai dengan langkah-langkah dalam bab Metodologi serta pembahasan terhadap hasil yang diperoleh.
- Bab V Kesimpulan dan Saran, mengemukakan kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian yang telah dilakukan serta saran sehubungan dengan hasil penelitian serta pengembangannya.

### c. Bagian Akhir

Bagian akhir terdiri dari daftar pustaka dan lampiran.

## BAB II

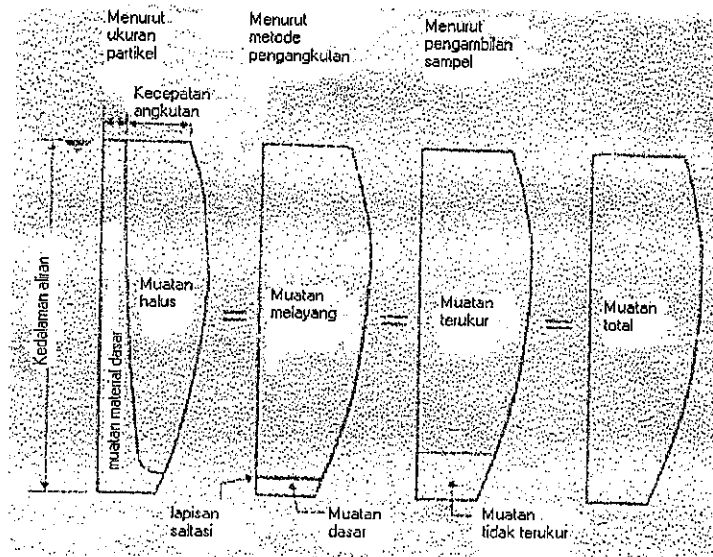
### DASAR TEORI

#### 2.1 Sedimen Layang

Sedimen merupakan hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit atau jenis erosi tanah lainnya. Karena adanya transpor sedimen dari tempat yang lebih tinggi (hulu) ke daerah hilir dapat menyebabkan pendangkalan waduk, sungai, saluran irigasi dan terbentuknya tanah baru di pinggir-pinggir dan di delta-delta sungai. Dengan demikian proses sedimentasi dapat memberikan dampak yang menguntungkan dan merugikan. Menguntungkan karena pada tingkat tertentu adanya aliran sedimen ke daerah hilir dapat menambah kesuburan tanah serta terbentuknya tanah garapan baru di daerah hilir, dan pada saat yang bersamaan aliran sedimen juga dapat menurunkan kualitas perairan dan pendangkalan badan perairan. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen layang dalam sungai (*suspended sediment*) atau dengan pengukuran langsung di dalam waduk.

##### 2.1.1 Distribusi Sedimen

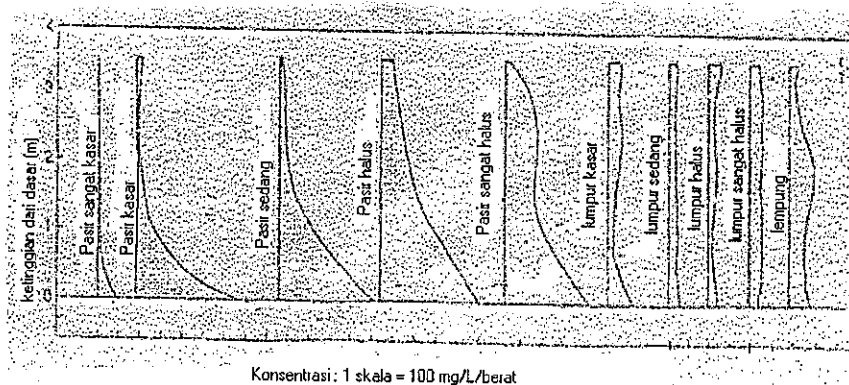
Berdasarkan dari ukuran partikelnya, sedimen dibagi menjadi muatan partikel halus (*wash load*) dan muatan bahan dasar (*bed material load*). Distribusi vertikal sedimen makin mendekati permukaan air muatan partikel halus lebih besar. Berdasarkan metode pengangkutannya sedimen dibagi menjadi muatan melayang (*suspended load*) dan muatan dasar (*bed load*), distribusi vertikal sedimennya untuk muatan dasar terletak pada dasar sungai sedang muatan melayang persentasinya lebih besar dan terletak diatas muatan dasar, diantara muatan melayang dan muatan dasar terdapat lapisan saltasi (*saltation load*). Berdasarkan cara pengambilan sampelnya, sedimen dibagi menjadi muatan terukur (*measured load*) dan muatan tidak terukur (*unmeasured load*), dengan distribusi vertikal pada bagian dasar sungai muatan tidak terukur dan muatan terukur diatas muatan tidak terukur hingga ke permukaan air. Untuk lebih jelasnya Distribusi vertikal sedimen dan komponen sedimen total (*total load*) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Sumber : Fan dan Moris 1997, diterjemahkan

Gambar 2.1 Distribusi vertikal sedimen dan komponen sedimen total

Distribusi vertikal konsentrasi sedimen berdasarkan jenis partikelnya dapat dilihat pada Gambar 2.2. Untuk partikel yang halus distribusi vertikal konsentrasinya cenderung sama (*uniform*), sedang untuk partikel yang kasar distribusi vertikal konsentrasinya cenderung bervariasi secara logaritmik menurut kedalamannya dari dasar sungai.



Sumber : Fan dan Moris 1997, diterjemahkan

Gambar 2.2 Distribusi vertikal konsentrasi sedimen menurut jenis partikelnya

### 2.1.2 Pengambilan Sampel Sedimen Layang

Pengambilan sampel sedimen layang dilakukan bersamaan dengan pengukuran debit aliran yaitu dengan cara membagi penampang melintang sungai menjadi beberapa sub penampang. Pada tiap sub penampang tersebut dilakukan pengambilan sampel sedimen. Pengambilan sampel sedimen layang dilakukan dengan cara pengambilan sampel air menggunakan alat *sediment sampler* dengan metode sebagai berikut :

- *Depth integrated*

Pada metode ini pengambilan sampel air pada suatu vertikal aliran dengan cara menurunkan alat ke dasar dan menaikkan lagi sampai kepermukaan. Alat dinaikkan dan diturunkan dengan kecepatan yang merata, sehingga diperoleh sampel air dengan volume berkisar antara 350 cc – 400 cc. Alat yang digunakan ada beberapa tipe antara lain US-DH.48, US-D.59 dan US-D.74.

- *Point Integrated*

Pada metode ini pengambilan sampel air pada suatu vertikal aliran dengan cara menurunkan alat disuatu titik yang ditentukan yang mewakili besaran rerata konsentrasi sedimen pada vertikal tersebut sehingga diperoleh sampel air dengan volume sesuai dengan botol yang digunakan. Alat yang digunakan ada beberapa tipe antara lain US-P.46 dan US-P.61.

Hasil pengambilan sampel sedimen kemudian dianalisis di laboratorium. Di laboratorium sampel air tersebut disaring dengan menggunakan kertas saring dengan ukuran yang sesuai. Selanjutnya sampel air yang telah disaring tersebut dikeringkan dengan menggunakan oven. Sedimen kering kemudian ditimbang dan dinyatakan dalam bentuk prosentasi dari berat total gabungan air dan sedimen.

### 2.1.3 Rumus Perhitungan Sedimen Layang

Dengan didapatnya konsentrasi sedimen rata-rata pada bagian penampang melintang sungai, maka debit sedimen melayang dapat dihitung sebagai hasil perkalian antara konsentrasi dan debit air yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_s = 0,0864 \times C \times Q_w \quad (2.1)$$

Dimana :

$Q_s$  = debit sedimen (ton/hari)

$C$  = konsentrasi sedimen (mg/liter)



$Q_w$  = debit aliran ( $m^3/detik$ )

0,0864 merupakan faktor perubahan unit

## 2.2 *Load-Interval Flow-Duration Technique*

Metode ini digunakan untuk menentukan muatan sedimen pada tiap-tiap interval debit (*load interval*) dengan lengkung laju debit sedimen (*sediment discharge rating curve*) berdasarkan besarnya debit pada tiap interval yang ditentukan dengan menggunakan lengkung waktu aliran (*Flow-Duration*) tahunan maupun musiman. Pada metode ini muatan rata-rata digabungkan dengan kelas interval debit yang hanya menggambarkan sampel-sampel di dalam kelas dan tidak dipengaruhi oleh kecenderungan dari kelas-kelas interval yang berdekatan. Lengkung waktu aliran hanya berlaku pada periode tahun dimana data digunakan untuk membuat kurva, tetapi apabila data pengukuran cukup panjang dan dapat mewakili karakteristik sungai maka kurva dapat dianggap sebagai kurva probabilitas dan dapat digunakan untuk estimasi di masa mendatang.

## 2.3 *Lengkung Laju Debit Sedimen*

Pengambilan sampel sedimen dilakukan bersama-sama dengan pengambilan data debit aliran, sehingga dapat dibuat hubungan antara keduanya (*suspended sediment-discharge rating curve*). Dalam pembuatan lengkung laju debit-sedimen (*sediment discharge rating curve*), yang perlu diperhatikan adalah sedapat mungkin diperoleh data debit dan muatan sedimen yang mewakili keadaan dengan aliran besar, aliran normal dan aliran kecil. Untuk daerah tropis umumnya pengambilan data dilakukan pada musim kemarau dan musim hujan (Asdak, 1995).

Lengkung laju sedimen layang biasanya dinyatakan dalam dua bentuk yaitu dalam korelasi antara konsentrasi sedimen dan debit aliran atau debit sedimen layang dengan debit aliran, pada kedua bentuk tersebut debit aliran selalu terletak pada sumbu X. Plotting data lapangan menggambarkan rangkaian data konsentrasi –debit aliran sesaat tetapi kurva juga diplot untuk menunjukkan rata-rata debit sedimen layang sebagai fungsi dari rata-rata debit aliran harian, bulanan dan periode waktu lainnya. Hubungan antara konsentrasi sedimen atau debit sedimen layang dengan debit aliran sesaat yang dikarakteristikkan dengan hubungan tunggal log-log,

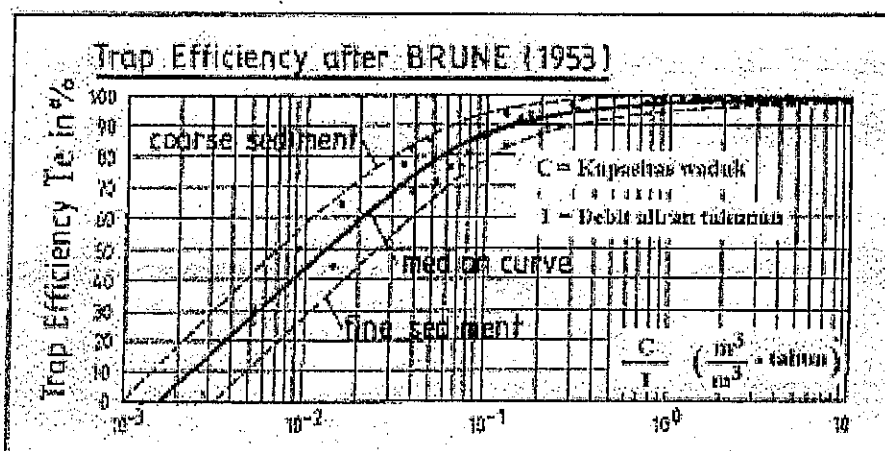
apabila terdapat hubungan yang tidak baik maka dapat dibuat kurva-kurva terpisah menurut ukuran partikel, menurut musim dan menurut tahapan datangnya banjir dan turunnya banjir. Untuk mendapat hasil yang baik maka menurut Fan dan Morris (1995) data yang ada harus :

- meliputi seluruh rangkaian data debit dari rendah sampai tinggi
- meliputi tahapan datangnya banjir atau turunnya banjir
- kondisi hidrologinya tidak menyimpang
- Untuk debit yang tinggi, sampel lebih dari satu kejadian

#### 2.4 Efisiensi Tangkapan Sedimen (*Trap Efficiency*)

Efisiensi tangkapan sedimen (*trap efficiency*) dari waduk didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya sedimen yang mengendap di dalam waduk dengan aliran sedimen yang masuk ke dalam waduk. Efisiensi tangkapan sedimen (*trap efficiency*) sangat dipengaruhi oleh kecepatan jatuh partikel sedimen, kapasitas dan bentuk waduk serta besarnya aliran yang masuk ke dalam waduk.

Metode yang biasa digunakan untuk mengestimasi efisiensi tangkapan sedimen (*trap efficiency*) suatu waduk adalah metode yang diusulkan oleh Brune. Metode Brune didasarkan pada data pengukuran sejumlah waduk yang ada di banyak negara. Dari data lapangan ini didapatkan suatu set kurva untuk menentukan besarnya sedimen yang mengendap di dalam waduk, yaitu dengan menggunakan data masukan berupa perbandingan antara kapasitas waduk dengan aliran air rata-rata yang masuk ke dalam waduk tiap tahun. Secara teoritis, efisiensi tangkapan sedimen (*trap efficiency*) dari suatu waduk, dari tahun ke tahun akan berkurang secara kontinu dengan berkurangnya kapasitas waduk karena bertambahnya endapan sedimen.



Sumber: Sheuvelin, H. (1987)

Gambar 2.3 Efisiensi tangkapan sedimen menurut Brune

## 2.5 Perhitungan Sedimentasi Waduk

Sedimen yang mengendap di dalam waduk dapat dihitung dengan pendekatan survei hidrografi yaitu dengan melakukan dua kali pengukuran volume tampungan waduk pada waktu yang berbeda. Pengukuran dapat dilakukan sebelum penggenangan dan setelah waduk dioperasikan atau kedua pengukuran tersebut dilakukan setelah waduk dioperasikan. Selisih kapasitas hasil pengukuran merupakan volume sedimen yang mengendap selama selang waktu kedua pengukuran tersebut. Metode yang dipakai adalah metode *Echo Sounding* (volume genangan waduk diukur dengan pantulan suara).

Daerah genangan waduk dibagi menjadi beberapa penampang lintang pada lokasi yang sesuai dengan kondisi lapangan dan dianggap dapat mewakili untuk perhitungan volume. Lokasi penampang ini akan digunakan untuk pengukuran kedalamannya. Pada setiap penampang lintang dilakukan pengukuran kedalaman terhadap suatu titik ikat. Dari hasil pengukuran ini dibuat peta kontur dengan beda elevasi tertentu, misalnya 2,50 m dengan skala peta 1:10.000. Perhitungan volume dengan menggunakan metoda luas kontur peta genangan. Dengan metoda ini dapat diperoleh hasil volume waduk baik pada kondisi sebelum maupun setelah mengalami sedimentasi. Hasil perhitungan luas kontur yang diperoleh merupakan hasil luas pada elevasi tertentu di areal genangan waduk. Volume genangan diantara dua buah garis kontur dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{3}(H_{i+1} - H_i)(A_i + A_{i+1} + \sqrt{A_i A_{i+1}}) \quad (2.2)$$

$$V_w = \sum V \quad (2.3)$$

Dimana :

$V$  = Volume tampungan antara garis kontur ke  $i$  dan  $i+1$  ( $m^3$ )

$V_w$  = Volume tampungan waduk ( $m^3$ )

$H_i$  = Elevasi garis kontur ke  $i$  (m)

$H_{i+1}$  = Elevasi garis kontur ke  $i+1$  (m)

$A_i$  = Luas bidang kontur ke  $i$  ( $m^2$ )

$A_{i+1}$  = Luas bidang kontur ke  $i+1$  ( $m^2$ )

Volume genangan seluruhnya dihitung dengan menjumlahkan seluruh volume di antara garis kontur ke  $i$  dan garis kontur  $i+1$ . Perhitungan volume dilakukan sebelum dan setelah waduk mengalami sedimentasi, misalnya dalam selang waktu  $\Delta T$ . Volume sedimen yang diendapkan di dalam waduk pada selang waktu  $\Delta T$  adalah selisih volume genangan sebelum dan setelah waktu  $\Delta T$  tersebut.

$$V_{\Delta T} = V_{T1} - V_{T2} \quad (2.4)$$

Dimana :

$V_{\Delta T}$  = Volume sedimen dalam selang waktu  $\Delta T$  ( $m^3$ )

$V_{T1}$  = Volume genangan pada pengukuran  $T_1$  ( $m^3$ )

$V_{T2}$  = Volume genangan pada pengukuran  $T_2$  ( $m^3$ )

$\Delta T = T_2 - T_1$

Hasil yang didapat pada pengukuran waduk dengan pendekatan survei hidrografi berupa volume sedimen, sedangkan hasil perhitungan sedimen yang masuk berupa berat. Untuk merubah volume menjadi berat perlu diketahui kepadatan endapan sedimen dari waktu ke waktu akibat pengaruh konsolidasi.

## 2.6 Sedimen Dasar

Muatan sedimen dasar dapat dihitung berdasarkan prosentase terhadap hasil hitungan muatan sedimen layang. Untuk mengestimasi muatan sedimen dasar diberikan beberapa batasan yaitu

konsentrasi sedimen, analisis ukuran butiran dari material dasar dan material sedimen layang seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Prosentasi muatan dasar terhadap muatan suspensi total

Konsentrasi Sedimen Suspensi (mg/liter)	Jenis bahan Dasar sungai	Tekstur dari Material suspensi	Prosentasi Muatan dasar Terhadap muatan Suspensi total (%)
< 1000	Pasir	20 % - 50 % pasir	25 - 150
1000 - 7500	Pasir	20 % - 50 % pasir	10 - 35
> 7500	Bukan pasir termasuk lempung padat, kerikil, batubara	< 25 % pasir	5 - 15
Sembarang konsentrasi	Lempung dan lanau	Tanpa pasir	< 2

Sumber : Strand dan Pemberton 1987 dalam Fan dan Morris 1997

## 2.7 Statistik

Statistik adalah usaha memprakirakan besarnya parameter populasi berdasarkan sampel yang diambil dari suatu populasi baik secara acak maupun sistematis. Populasi adalah sekelompok individu dalam kategori yang sama sedang sampel adalah bagian atau porsi kecil yang diambil dari populasi yang ingin kita ketahui parameter statistiknya. Pengambilan sampel dilakukan karena penelitian dengan menggunakan populasi secara langsung adalah mahal dan memerlukan waktu lama. Karakteristik yang dimiliki parameter populasi yang ingin diprakirakan biasanya bervariasi baik dalam jumlah atau besarnya. Karakteristik yang dapat dikuantifikasi tersebut dinamakan Variabel. Variabel dibedakan menjadi dua yaitu variabel bebas (*independent variabel*) dan variabel tidak bebas (*dependent variabel*). Variabel bebas adalah variabel yang bersifat mempengaruhi besarnya variabel tidak bebas, sedang variabel tidak bebas tidak dapat mempengaruhi besar kecilnya variabel bebas.

### 2.7.1 Parameter Statistik

#### Nilai rata-rata

Nilai rata-rata merupakan alat untuk mengukur nilai tengah (*central tendency*) yang paling banyak digunakan dalam perhitungan statistik.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.5)$$

Dimana :

$\bar{X}$  = prakiraan nilai rata-rata

$X_i$  = nilai individu dalam sampel

$n$  = jumlah sampel

#### Simpangan baku

Simpangan baku (*Standard deviation*) menunjukkan besarnya derajat variabilitas dalam sampel.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (2.6)$$

Dimana :

$S$  = simpangan baku

$\bar{X}$  = prakiraan nilai rata-rata

$X_i$  = nilai individu dalam sampel

$n$  = jumlah sampel

#### Kesalahan Baku

Kesalahan baku (*standard error*) adalah besarnya varians antara nilai rata-rata sampel.

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.7)$$

Dimana :

$SE$  = prakiraan kesalahan baku

$S$  = simpangan baku

$n$  = jumlah sampel

### Koefisien Kemencengan

Koefisien kemencengan (*koefisien skewness*) adalah derajat ketidaksimetrian dari suatu distribusi. Dimana secara teoritis untuk distribusi normal nilai  $Cs \pm 0,3$ .

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.8)$$

Dimana :

$Cs$  = koefisien kemencengan

$S$  = simpangan baku

$\bar{X}$  = prakiraan nilai rata-rata

$X_i$  = nilai individu dalam sampel

$n$  = jumlah sampel

### **2.7.2 Penentuan Sampel**

Metode pengambilan sampel bervariasi menurut jenis variabelnya misalnya penentuan sampel acak sederhana, acak stratifikasi dan sistematis. Pengambilan sampel yang dilakukan secara acak berdasarkan ketentuan bahwa setiap pengukuran dilakukan secara terpisah dan masing-masing data yang diukur mempunyai peluang atau kesempatan yang sama besarnya untuk dijadikan sampel. Data sampel dianggap masih memadai apabila nilai kesalahan baku (*standard error*)  $\leq 10$  % dari nilai rata-ratanya.

### Test Homogenitas

Test Homogenitas diperlukan untuk mengetahui apakah data sampel homogen atau tidak homogen. Data dianggap tidak homogen apabila dalam setiap sub kelompok sampel ditandai dengan perbedaan nilai rata-rata dan perbedaan varian terhadap sub kelompok lain dalam sampel tersebut. Secara grafis dengan menggunakan deret berkala dapat untuk mengetahui perbedaan dalam nilai rata-rata maupun varian, berdasarkan kenampakan grafiknya dapat digunakan sebagai dasar perhitungan dengan rumus sebagai berikut :

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X})^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (X_i - \bar{X})^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2.9)$$

test homogenitas  $\bar{X}$

$$t_c = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S_p \sqrt{\frac{(n_1 + n_2)}{n_1 \cdot n_2}}} \quad (2.10)$$

test homogenitas S

$$t_c = \frac{|S_1 - S_2|}{S_p \sqrt{\frac{(n_1 + n_2)}{n_1 \cdot n_2}}} \quad (2.11)$$

Apabila :  $t_c \leq t_{(1-\alpha)(n_1+n_2-2)}$  maka data homogen

$t_c \geq t_{(1-\alpha)(n_1+n_2-2)}$  maka data tidak homogen

Dimana :

$X_i$  = nilai sampel pada data sebanyak  $n_1$

$X_j$  = nilai sampel pada data sebanyak  $n_2$

$n$  = jumlah sampel

$S$  = simpangan baku

$\bar{X}$  = prakiraan nilai rata-rata

$t_c$  = Harga frekwensi yang mengikuti distribusi student t

$t_{(1-\alpha)(n_1+n_2-2)}$  = Harga frekwensi distribusi student t dengan tingkat kepercayaan  $(1-\alpha)$  dan derajat kebebasan  $(n_1+n_2-2)$

### Outliers

*Outliers Test* diperlukan untuk mengetahui apakah data yang ada konsisten (terjadi penyimpangan yang cukup besar dari suatu data dengan data lainnya), baik karena faktor alat atau faktor manusia. Pencoretan data *Outliers* sangat mempengaruhi nilai parameter statistik terutama untuk sampel yang kecil. Data *Outliers* tidak harus dibuang karena terkadang justru diperlukan dalam analisa.

Test outliers tinggi (*high outliers*)

$$X_h = \bar{X} + K_n \cdot S \quad (2.12)$$

Apabila  $X > X_h$  maka X adalah data *outlier* tinggi

Apabila  $X \leq X_h$  maka X adalah bukan data *outlier* tinggi

Test outliers rendah (*low outliers*)

$$X_L = \bar{X} - K_n \cdot S \quad (2.13)$$



Apabila  $X < X_L$  maka  $X$  adalah data *outlier* rendah

Apabila  $X \geq X_L$  maka  $X$  adalah bukan data *outlier* rendah

Dimana :

$X_h$  = Batas atas data tertinggi

$X_L$  = Batas bawah data terendah

$\bar{X}$  = nilai rata-rata

$S$  = Simpangan baku

$K_n$  = Faktor frekwensi data *outlier*

Jika sekumpulan data mempunyai harga koefisien kemencengan maka menurut *Water resources Council 1981* dalam Chow 1988 apabila :

- $C_s > 0.4$  maka test data *outlier* tinggi terlebih dahulu, kemudian dikoreksi dan test data *outlier* rendah
- $C_s < -0.4$  maka test data *outlier* rendah terlebih dahulu, kemudian dikoreksi dan test data *outlier* tinggi
- $-0.4 < C_s \leq 0.4$  maka test data *outlier* tinggi dan test data *outlier* rendah dilakukan bersamaan.

### 2.7.3 Persamaan Regresi Linier

Analisis statistik yang sering dimanfaatkan untuk melihat hubungan antara dua atau lebih variabel yang saling berkorelasi adalah analisis regresi. Dengan mengetahui bentuk persamaan regresi antara dua variabel maka besarnya variabel tidak bebas (*dependent variable*) dapat diperkirakan dari angka pengukuran variabel bebas (*independent variable*). Analisis regresi dibedakan menjadi dua yaitu analisis regresi linier sederhana (*simple linear regression*) dan analisis regresi ganda (*multiple regression*).

Analisis regresi sederhana menunjukkan hubungan linier antara variabel tidak bebas  $y$  dan satu variabel bebas  $x$ . Persamaan regresi liniernya adalah sebagai berikut :

$$y = a + b x \quad (2.14)$$

Dimana :

$y$  = variabel tidak bebas

$x$  = variabel bebas

$a, b$  = koefisien regresi

Persyaratan untuk pemakaian persamaan regresi linier sederhana adalah sebagai berikut :

- Ada hubungan yang bersifat linier antara variabel tidak bebas  $y$  dan variabel bebas  $x$  dimana bentuk hubungan tersebut bersifat fungsional atau kasual.
- Variabel bebas  $x$  bukan merupakan variabel acak melainkan berada dibawah kendali peneliti.
- Sebaran populasi bersifat normal dan besarnya angka-angka varians dari populasi yang berbeda kurang lebih sama.

Selain linier, analisis regresi sederhana juga memungkinkan terbentuknya hubungan non-linier seperti tersebut dibawah ini :

- Kurva eksponensial  $y = a e^{bx}$
- Kurva logaritma  $y = a + b \ln x$
- Kurva berpangkat  $y = a x^b$

Disarankan untuk membuat sebaran data (*scatter plots*) dari data yang dikumpulkan dari lapangan sebagai langkah awal untuk mengkaji apakah harga  $y$  naik atau turun dengan adanya perubahan variabel  $x$ , apakah bentuk hubungan dua variabel tersebut kuat atau sedang, termasuk sifat kelinierannya serta ada atau tidak adanya data pengamatan yang berada di luar pola penyebaran umumnya (*outliers*).

(Asdak, 1995)

Model umum regresi linier sederhana yang menggambarkan respon variabel  $y$  oleh adanya perubahan variabel bebas  $x$  adalah :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.15)$$

Estimator model regresi linier sederhana adalah :

$$y = \beta_0' + \beta_1 (x - \bar{x}) \quad (2.16)$$

$$\beta_0 = \beta_0' - \beta_1 \bar{x} \quad (2.17)$$

$$\beta_0' = \bar{y}$$

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (2.18)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} \quad (2.19)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n} \quad (2.20)$$

Dimana :

y = variabel tidak bebas

x = variabel bebas

$\beta_0, \beta_1$  = koefisien regresi

$x_i, y_i$  = data pengamatan di lapangan

n = jumlah data

$\bar{x}, \bar{y}$  = nilai rata-rata dari data pengamatan di lapangan

## 2.7.4 Koefisien Determinasi

Sesuai atau tidaknya model matematis regresi sederhana dengan data yang digunakan dapat ditunjukkan dengan mengetahui besarnya nilai  $r^2$  atau juga disebut sebagai koefisien determinasi (*coefficient of determination*). Koefisien determinasi menunjukkan seberapa jauh kesalahan dalam memprakirakan besaran y dapat direduksi dengan menggunakan informasi yang dimiliki variabel x. Model persamaan regresi dianggap sempurna apabila nilai  $r^2 = 1$ . Sebaliknya apabila variasi yang ada pada nilai y tidak ada yang bisa dijelaskan oleh model persamaan regresi yang diajukan maka nilai  $r^2 = 0$ .

$$r^2 = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \left[ \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) / n \right] \right\}^2}{\left[ \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left\{ \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 / n \right\} \right] \left[ \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left\{ \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 / n \right\} \right]} \quad (2.21)$$

Dimana :

$r^2$  = koefisien determinasi

n = jumlah data

$x_i, y_i$  = data pengamatan lapangan

### 2.7.5 Korelasi

Analisis korelasi adalah bentuk analisis statistik yang menunjukkan kuatnya hubungan antara dua variabel. Besarnya korelasi berkisar antara -1 sampai dengan 1. Nilai  $r$  sama dengan atau mendekati 0 menunjukkan bahwa hubungan antara variabel  $x$  dan variabel  $y$  sangat kecil atau tidak ada korelasi linier sama sekali. Apabila nilai  $r$  mendekati 1 maka menunjukkan korelasi positif antara kedua variabel  $x$  dan variabel  $y$ , artinya besarnya variabel  $y$  meningkat dengan meningkatnya variabel  $x$ . Dan bila nilai  $r$  mendekati -1 maka menunjukkan korelasi negatif antara kedua variabel  $x$  dan variabel  $y$ , artinya besarnya variabel  $y$  menurun dengan meningkatnya variabel  $x$ . Secara umum dapat ditentukan bahwa korelasi antara dua variabel adalah lemah apabila  $0 \leq |r| \leq 0,5$  dan mempunyai korelasi kuat apabila  $0,8 \leq |r| \leq 1$ .

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \left\{ \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) \right\} / n}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left\{ \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right\} / n \right] \left[ \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left\{ \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right\} / n \right]}} \quad (2.22)$$

Dimana :

$r$  = korelasi

$n$  = jumlah data

$x_i, y_i$  = data pengamatan lapangan

(Hines and Montgomery, 1990)

### 2.7.6 Pengujian Hasil

Untuk mengetahui tingkat akurasi antara hasil perhitungan dan data pengukuran lapangan, maka dihitung kesalahannya dengan rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{|Q_{sd} - Q_{sp}|}{Q_{sd}} \cdot 100\% \quad (2.23)$$

Dimana :

$E$  = kesalahan/ *Error*

$Q_{sd}$  = debit sedimen layang data pengukuran lapangan

$Q_{sp}$  = debit sedimen layang hasil perhitungan

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini digunakan data sekunder berupa debit aliran dan konsentrasi sedimen hasil survei lapangan dari Waduk PB Sudirman.

Data-data yang dipergunakan pada penelitian ini diperoleh dari PT. Indonesia Power bagian Monitoring Geoteknik dan Hidrologi, Unit Pembangkit Mrica berupa :

a. Data Pengambilan Sampel Sedimen Layang

Pengambilan sampel Sedimen Layang dilakukan oleh CV. Widha Konsultan Semarang (Pebruari 1988 s/d Oktober 1988) dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan (Desember 1988 s/d Januari 1989). Pengambilan sampel dilakukan pada dua sungai utama yang dipertimbangkan sebagai medium terhadap masuknya sedimen ke dalam Waduk PB Sudirman yaitu sungai Serayu di Pos Banjarnegara dan Sungai Merawu di Pos Clangap, serta satu sungai kecil yaitu sungai Lumajang di Pos Linggasari. Cara pengambilan sampel dengan metode *depth integrated* pada tiga sub bagian penampang melintang. Data Ringkasan hasil pengambilan sampel sedimen layang disajikan pada lampiran Tabel A-1, Tabel A-2 dan Tabel A-3.

b. Data Debit Aliran Harian

Pengukuran debit aliran harian dilakukan secara rutin oleh bagian monitoring Geoteknik dan Hidrologi, Unit Pembangkit Mrica. Pada bulan Pebruari 1988 sampai dengan Januari 1989 belum ada pengukuran data debit aliran harian secara rutin sehingga untuk penelitian ini dipakai debit aliran harian dari Bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990 mengikuti periode pengukuran sedimentasi waduk yang terdekat dengan pengambilan sampel konsentrasi sedimen dan debit aliran. Debit aliran didapat dari nilai rata-rata pada tiga waktu pengukuran yaitu pukul 07.00, pukul 12.00 dan pukul 17.00, data ringkasan pengukuran debit aliran harian disajikan pada lampiran Tabel A-4 sampai dengan Tabel A-7. Untuk data pengukuran ketinggian muka air dari AWLR digunakan data dari sungai Serayu di pos Banjarnegara pada tahun 2000 karena sebelum tahun ini belum ada pengukuran dengan

AWLR. Ketinggian muka air pada tiap jam dapat dilihat pada lampiran Tabel A-8 sampai dengan Tabel A-20.

c. Data pengukuran Kapasitas Waduk

Pengukuran kapasitas waduk dilakukan secara rutin oleh bagian monitoring Geoteknik dan Hidrologi Unit Pembangkit Mrica menggunakan alat ukur kedalaman (*echosounder*). Pada penelitian ini dipakai hasil pengukuran pada periode yang terdekat dengan periode pengambilan sampel konsentrasi sedimen dan debit aliran, yaitu pada periode Nopember 1989 sebesar 144,904 juta m<sup>3</sup> dan periode Oktober 1990 sebesar 141,463 m<sup>3</sup>. Gambar penampang memanjang perkembangan sedimentasi Waduk PB Sudirman pada as sungai Serayu dapat dilihat pada lampiran Gambar F-1.

d. Data lain yang diperlukan

Sungai pada DAS Mrica mempunyai karakteristik seperti sungai-sungai di pegunungan, alirannya deras, tetapi jenis material dasarnya relatif halus. Jenis bahan dasar sungainya adalah pasir, tekstur dari material suspensinya sebagian besar pasir dan berat jenis kering (*dry density*) sedimennya adalah 0,75 t/m<sup>3</sup>.

Persamaan regresi yang sekarang (tahun 2002) digunakan untuk menghitung sedimen layang adalah sebagai berikut :

$$\text{- Sungai Serayu : } Q_s = 0,756 Q_w^{2,084} \quad (3.1)$$

$$\text{- Sungai Merawu : } Q_s = 26,525 Q_w^{1,745} \quad (3.2)$$

$$\text{- Sungai Lumajang : } Q_s = 11,7372 Q_w^{2,8864} \quad (3.3)$$

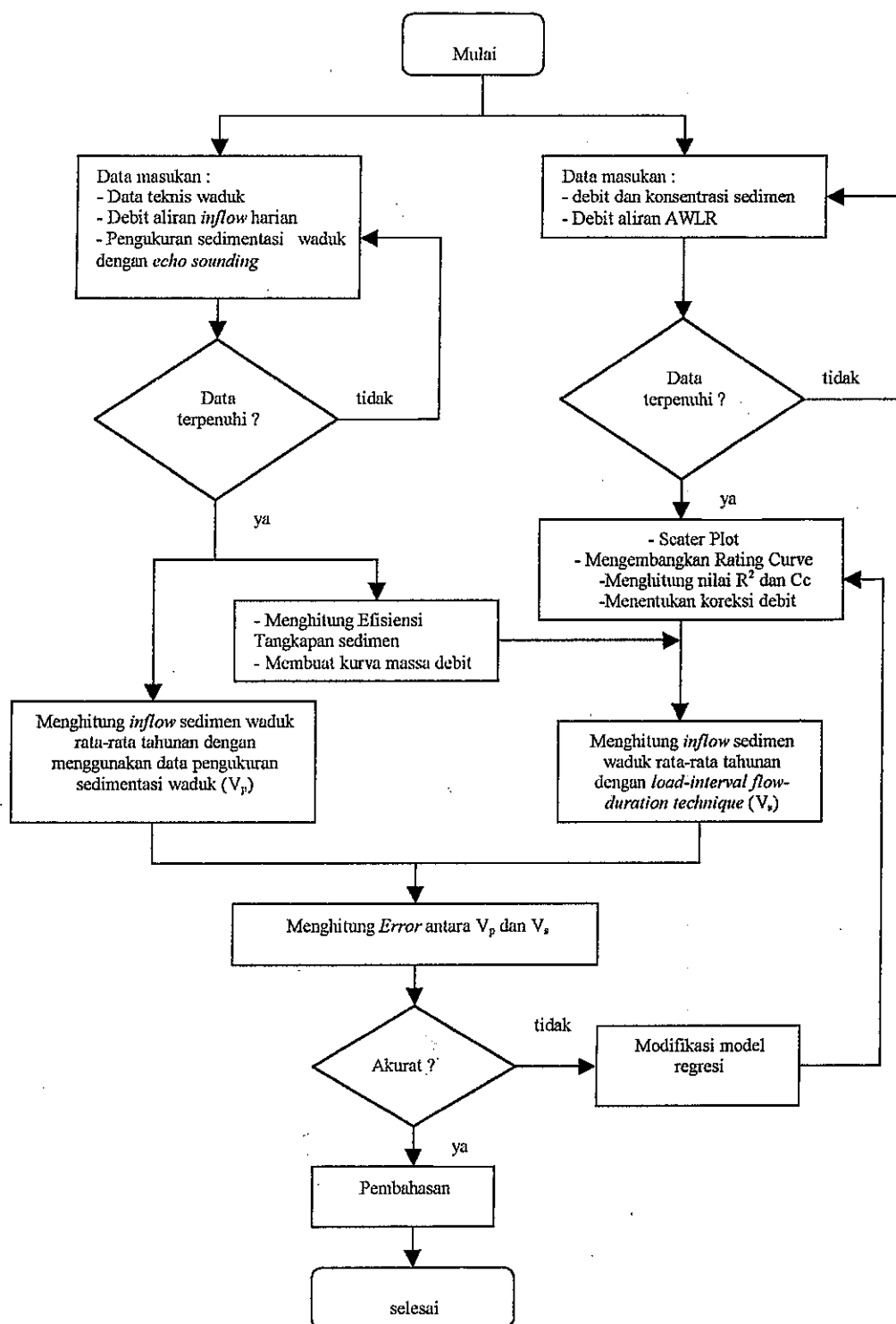
Persamaan regresi (3.1) sampai dengan (3.3) diturunkan dari data sampel yang diambil di alur sungai di daerah genangan waduk pada bulan Januari tahun 1989.

### 3.2 Pengolahan/ Analisa Data

Langkah-langkah pengolahan/ analisa data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

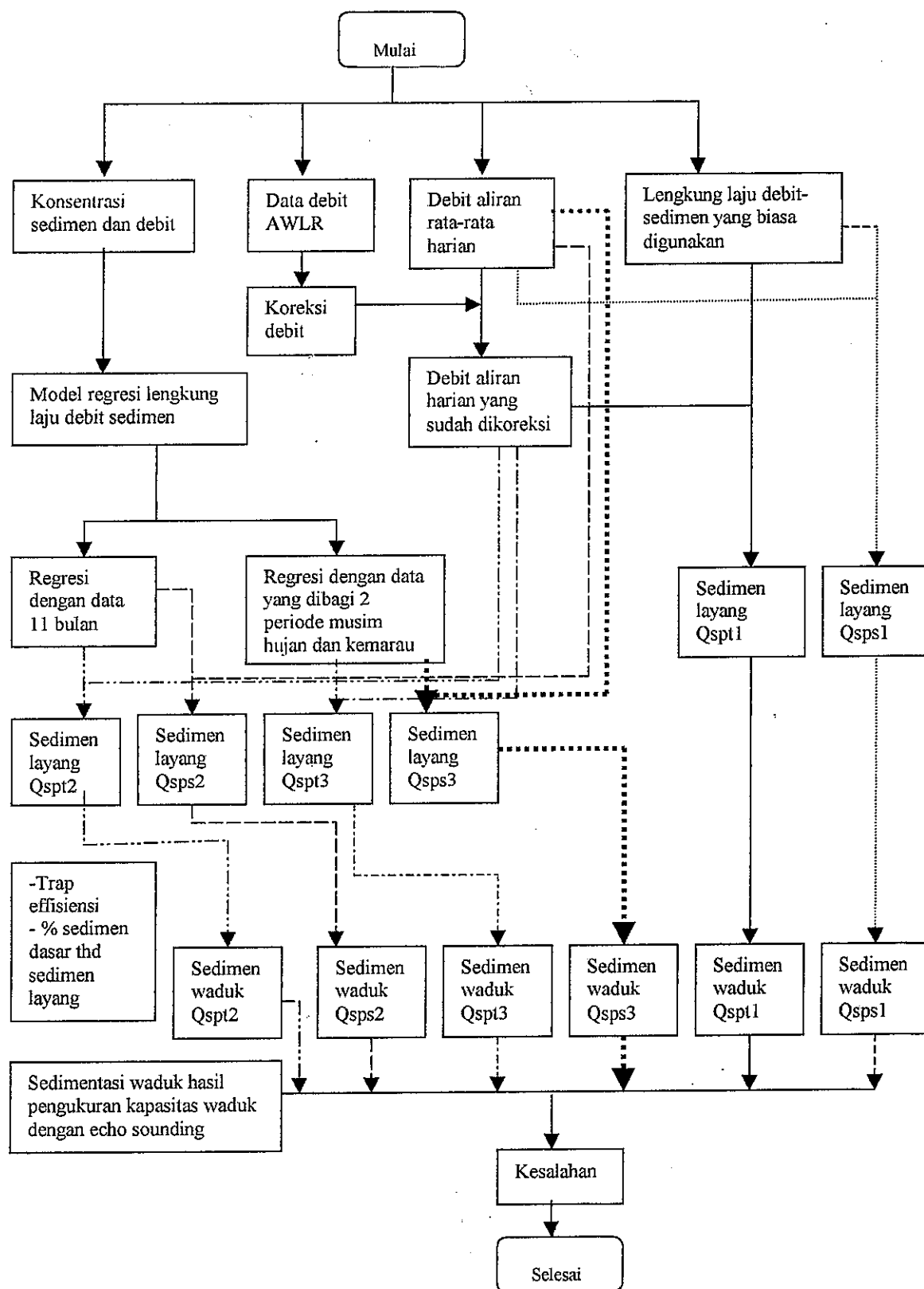
1. Menghitung debit sedimen layang sebagai hasil perkalian antara konsentrasi sedimen dan debit aliran menggunakan persamaan (2.1).
2. Membuat diagram scater dari data debit dan sedimen layang
3. Menghitung parameter statistik dari data sampel dengan persamaan (2.5) sampai dengan (2.8)

4. Membuat model regresi linier antara debit aliran dengan debit sedimen layang (*sediment-discharge rating curve*) menggunakan persamaan (2.14) sampai dengan (2.20).
5. Menguji model regresi yang diperoleh dengan mencari nilai koefisien determinasi dan korelasinya, menggunakan persamaan (2.21) dan (2.22).
6. Menentukan debit aliran harian rata-rata kontinu dengan mengalikan debit aliran harian rata-rata tiga waktu pengukuran dengan koreksi debit. Koreksi debit dihitung dengan menggunakan data pengukuran AWLR.
7. Menghitung debit sedimen rata-rata tahunan dengan menggunakan persamaan regresi yang biasa dipakai dan persamaan regresi hasil langkah nomor 5 diatas, dan berdasarkan besarnya debit aliran *inflow* harian sebelum dan sesudah dikoreksi (*load-interval flow-duration technique*).
8. Menghitung debit sedimen rata-rata tahunan dengan menggunakan hasil pengukuran *echo sounding*, data teknis waduk, efisiensi tangkapan sedimen dan debit aliran *inflow* harian.
9. Menghitung kesalahan (*error*) antara debit sedimen layang hasil perhitungan menggunakan model regresi dan pengukuran sedimentasi waduk dengan *echo sounding* menggunakan rumus (2.23).
10. Melakukan perhitungan test homogenitas, test outlier serta *standard error* dari data yang digunakan dengan persamaan (2.9) sampai dengan (2.13) untuk melengkapi analisa.
11. Melakukan pembahasan terhadap hasil yang didapat dari pengolahan data seperti tersebut diatas.
12. Menarik Kesimpulan dan saran



Gambar 3.1 Bagan alir Penelitian





Gambar 3.2 Bagan alir proses perhitungan sedimentasi waduk

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Debit Sedimen Layang

Debit sedimen layang ( $Q_s$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1), pada Tabel 4.1 dibawah ini dapat dilihat nilai maksimum, minimum dan rata-ratanya . Perhitungan yang lengkap dapat dilihat pada lampiran Tabel A-1 sampai dengan Tabel A-3 dan lampiran Tabel B-1 sampai dengan Tabel B-3.

Tabel 4.1 Debit aliran, konsentrasi sedimen dan debit sedimen layang

Sungai	Serayu	Merawu	Lumajang
<b><math>Q_w</math> (<math>m^3/dt</math>)</b>			
- minimum	9,35	4,92	0,54
- maksimum	688,90	422,15	22,70
- rata-rata	160,39	73,39	6,38
<b>C (mg/l)</b>			
- minimum	13,00	10,94	30,00
- maksimum	10.382,70	41.582,05	16.121,27
- rata-rata	1.579,80	6.273,21	4.309,79
<b><math>Q_s</math> (ton/hari)</b>			
- minimum	10,50	7,62	1,40
- maksimum	606.989,35	722.232,13	30.549,00
- rata-rata	47.817,89	76.941,86	4.338,81

#### 4.2 Perhitungan Debit Aliran Rata-rata Harian Kontinu

Data debit aliran dari Bulan Nopember 1989 sampai dengan bulan Oktober 1990 didapat dari nilai rata-rata data pengukuran yang tidak kontinu yaitu tinggi muka air diukur sebanyak tiga kali sehari pada pukul 07.00, pukul 12.00 dan pukul 17.00 sehingga besarnya debit kurang menggambarkan keadaan yang sesungguhnya terutama apabila terjadi banjir diluar jam pengukuran tersebut. Pada penelitian ini untuk mendapatkan data debit yang kontinu adalah dengan mengalikan data debit aliran harian rata-rata tiga waktu pengukuran dengan koreksi debit. Koreksi debit didapat dengan menghitung debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran dan debit harian rata-rata 24 jam dari data pengukuran tinggi muka air dengan AWLR, kemudian dari kedua nilai debit ini dicari selisih prosentasinya. Prosentasi inilah yang dipakai sebagai koreksi debit.

Pada penelitian ini digunakan data pengukuran tinggi muka air sungai Serayu dengan AWLR pada tahun 2000. Tabel 4.2 adalah merupakan hasil rekapitulasi perhitungan koreksi debit sungai Serayu.

Berdasarkan Tabel 4.2 maka koreksi debit sungai Serayu berkisar antara 3,49 % sampai dengan 14,64% dengan koreksi rata-rata sebesar 8,89 %. Karena tidak adanya data pengukuran tinggi muka air dengan AWLR di sungai Merawu dan Lumajang maka koreksi debit untuk sungai Merawu dan Lumajang dianggap sama dengan koreksi debit untuk sungai Serayu. Sungai Merawu dan Lumajang masih satu Induk sungai dengan sungai Serayu sehingga koreksi debitnya dapat dianggap sama.

Tabel 4.2 Rekapitulasi perhitungan koreksi debit sungai Serayu

Bulan	$Q_{kontinu}$ Rata-rata ( $m^3/dt$ )	$Q_3$ pengukuran Rata-rata ( $m^3/dt$ )	Koreksi debit $Q_{3pengukuran}$ (%)
1	2	4	$5 = (2-4)/2 \times 100$
Januari	63,81	56,31	10,96
Pebruari	61,19	54,19	10,15
Maret	70,24	58,78	14,44
April	89,91	81,92	8,66
Mei	58,50	54,14	6,25
Juni	34,55	31,74	6,63
Juli	20,23	18,84	6,08
Agustus	19,04	18,10	4,97
September	18,89	18,19	3,49
Oktober	46,65	38,36	14,64
Nopember	95,47	83,33	11,57
Desember	76,28	67,94	8,89
Koreksi rata-rata			8,89

Data tinggi muka air sungai Serayu tahun 2000 yang diukur dengan AWLR dapat dilihat pada lampiran Tabel B-8 sampai dengan B-19. Perhitungan koreksi debit sungai Serayu secara detail dapat dilihat pada lampiran Tabel C-13 sampai dengan C-24.

#### 4.3 Penurunan Persamaan Regresi (Lengkung Laju Debit-Sedimen)

Untuk membuat persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) antara debit aliran dengan debit sedimen terlebih dahulu dilihat sebaran datanya dengan membuat diagram sebaran data (*scatter plots*), dari diagram sebaran data akan terlihat bentuk hubungan antara variabel debit

aliran dan debit sedimen. Selanjutnya dihitung parameter-parameter statistiknya dengan menggunakan persamaan (2.14) sampai dengan (2.20).

Ada tiga bentuk persamaan regresi yang akan digunakan yaitu :

- Persamaan regresi kurva berpangkat
- Persamaan regresi kurva eksponensial
- Persamaan regresi kurva logaritma

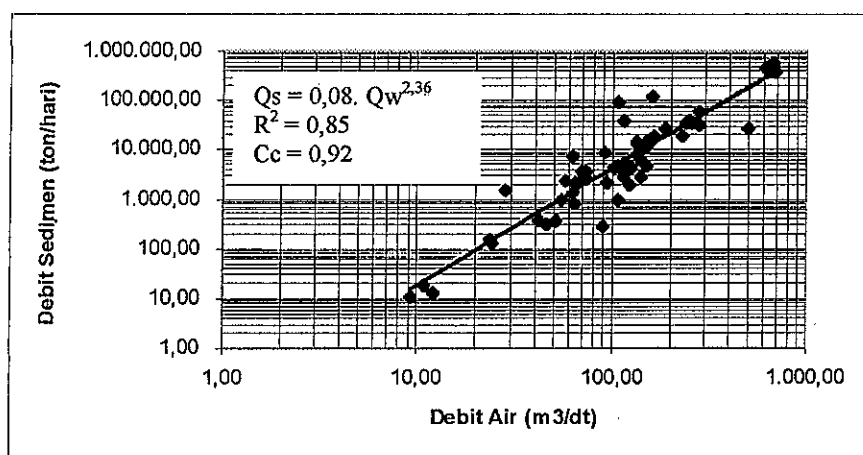
Dari ketiga persamaan ini akan dipilih satu yang mempunyai hubungan yang kuat dengan dilihat nilai koefisien korelasi dan koefisien determinasinya. Masing-masing persamaan regresi akan dibuat dengan data yang dibagi menjadi dua versi sebagai berikut :

- Semua data yang ada dalam periode pengukuran dipergunakan untuk membuat persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) sehingga masing-masing sungai akan mempunyai satu persamaan regresi.
- Data yang ada dalam periode pengukuran dibagi menjadi dua periode berdasarkan musim yaitu periode musim penghujan dan periode musim kemarau sehingga untuk masing-masing sungai akan mempunyai dua persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen).

#### 4.3.1 Persamaan Regresi (Lengkung Laju Debit-Sedimen) Dengan Menggunakan Semua Data Yang Ada (Periode 11 Bulan)

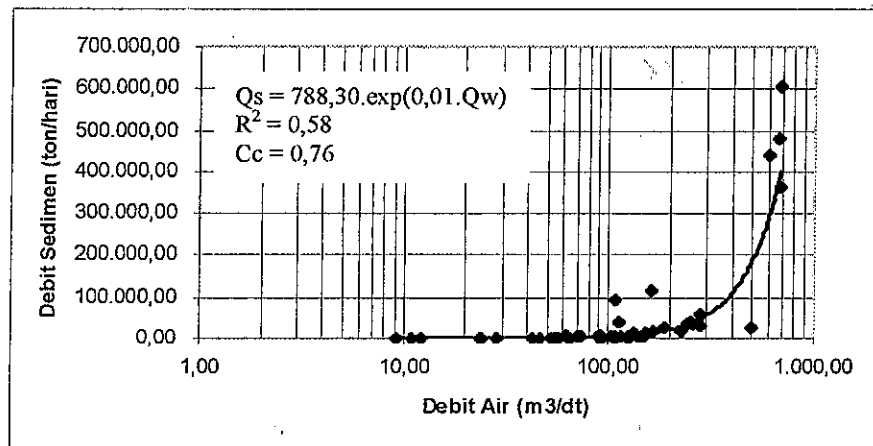
##### a. Lengkung Laju Debit-Sedimen Sungai Serayu

Dari data debit aliran dan debit sedimen layang sungai Serayu selama periode 11 bulan dibuat diagram sebaran datanya (*scatter plots*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan 4.3 berikut.



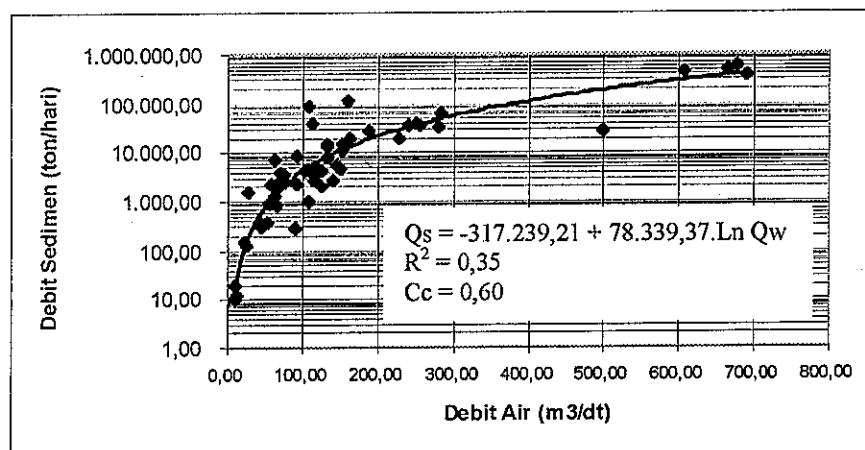
Gambar 4.1 Diagram scatter log Qw-log Qs sungai Serayu

Pada Gambar 4.1 terlihat sebaran data log Qw dan log Qs membentuk hubungan garis lurus, hubungan seperti ini adalah linier sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva linier/berpangkat dengan persamaan  $Q_s = 0,08.Q_w^{2,36}$ . Model regresi ini baik dan korelasinya kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi (Cc) 0,92 dan koefisien determinasi 0,85.



Gambar 4.2 Diagram scatter Qw –Ln Qs sungai Serayu

Pada Gambar 4.2 diatas terlihat sebaran data Qw dan Ln Qs membentuk kurva cekung, hubungan seperti ini adalah non linier / eksponensial sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva eksponensial dengan persamaan  $Q_s = 788,30.exp(0,01.Q_w)$ . Model regresi ini tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi (Cc) 0,76 dan koefisien determinasi 0,58.

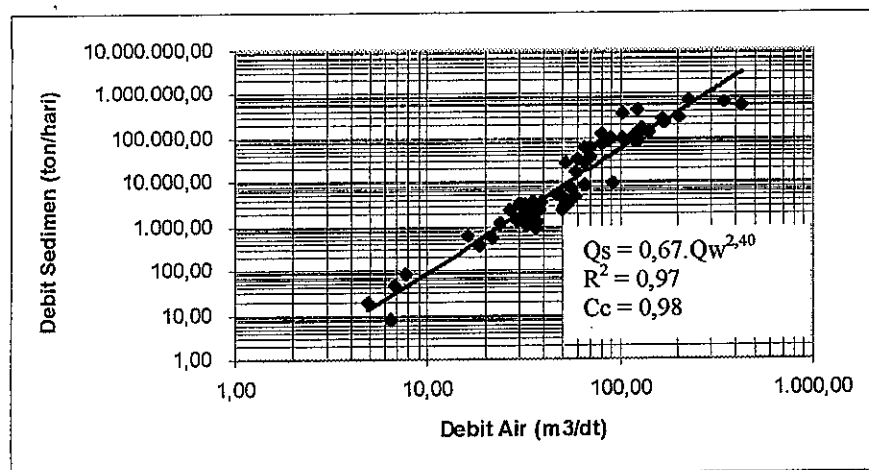


Gambar 4.3 Diagram scatter Ln Qw – Qs sungai Serayu

Pada Gambar 4.3 terlihat sebaran data Ln Qw dan Qs membentuk kurva cembung, hubungan seperti ini adalah non linier / logaritma sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva logaritma dengan persamaan  $Q_s = -317.239,21 + 78.339,37.Ln Q_w$ . Model regresi ini tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi (Cc) 0,60 dan koefisien determinasi 0,35.

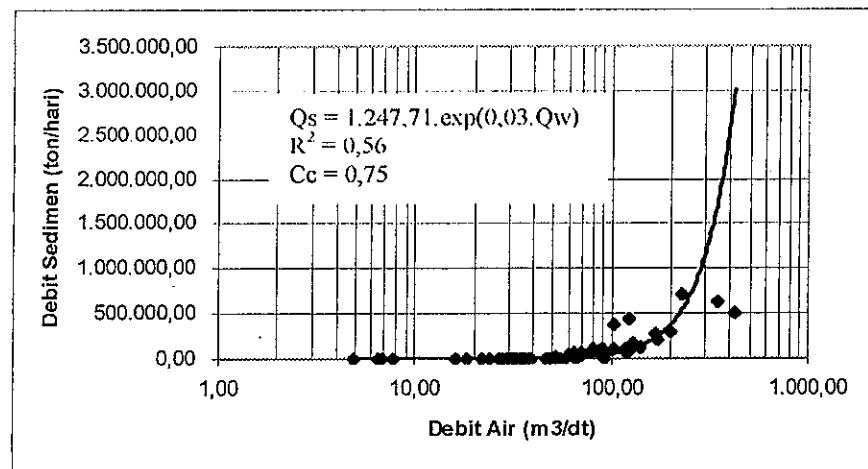
#### b. Lengkung Laju Debit-Sedimen Sungai Merawu

Dari data debit aliran dan debit sedimen layang sungai Merawu selama periode 11 bulan dibuat diagram sebaran datanya (*scatter plots*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 sampai dengan 4.6 berikut.



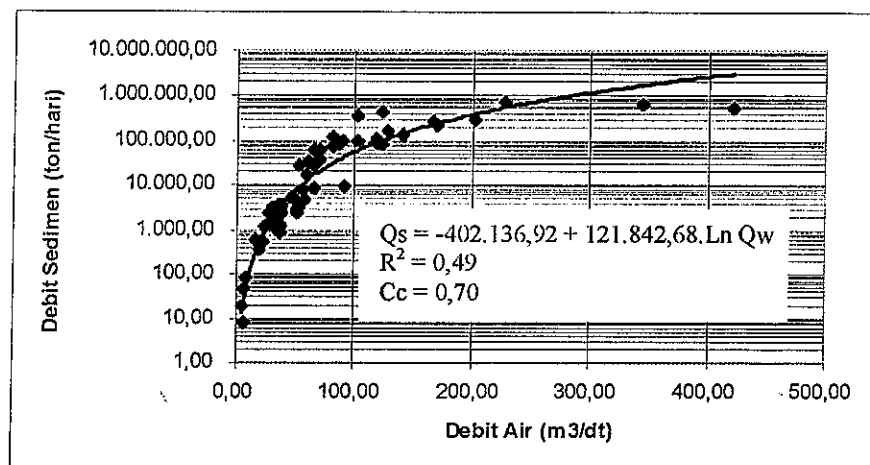
Gambar 4.4 Diagram scatter log Qw-log Qs sungai Merawu

Pada Gambar 4.4 terlihat sebaran data log  $Q_w$  dan log  $Q_s$  membentuk hubungan garis lurus, hubungan seperti ini adalah linier sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva linier/berpangkat dengan persamaan  $Q_s = 0,67.Q_w^{2,40}$ . Model regresi ini baik dan korelasinya kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi ( $C_c$ ) 0,98 dan koefisien determinasi 0,97.



Gambar 4.5 Diagram scatter  $Q_w$  –  $\ln Q_s$  sungai Merawu

Pada Gambar 4.5 diatas terlihat sebaran data  $Q_w$  dan  $\ln Q_s$  membentuk kurva cekung, hubungan seperti ini adalah non linier / eksponensial sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva eksponensial dengan persamaan  $Q_s = 1.247,71.exp(0,03.Q_w)$ . Model regresi ini tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi ( $C_c$ ) 0,75 dan koefisien determinasi 0,56.

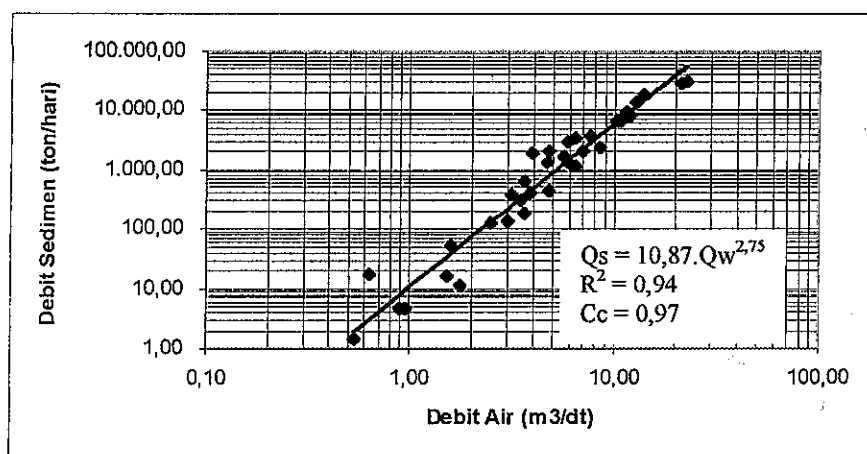


Gambar 4.6 Diagram scatter Ln Qw – Qs sungai Merawu

Pada Gambar 4.6 terlihat sebaran data Ln Qw dan Qs membentuk kurva cembung, hubungan seperti ini adalah non linier / logaritma sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva logaritma dengan persamaan  $Q_s = -402.136,92 + 121.842,68.Ln Q_w$ . Model regresi ini tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi (Cc) 0,70 dan koefisien determinasi 0,49.

### c. Lengkung Laju Debit-Sedimen Sungai Lumajang

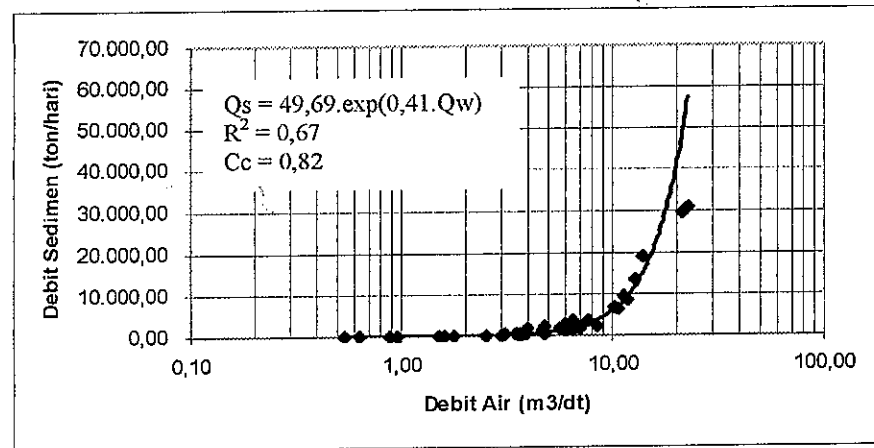
Dari data debit aliran dan debit sedimen layang sungai Lumajang selama periode 11 bulan dibuat diagram sebaran datanya (*scatter plots*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 sampai dengan 4.9 berikut.



Gambar 4.7 Diagram scatter log Qw-log Qs sungai Lumajang

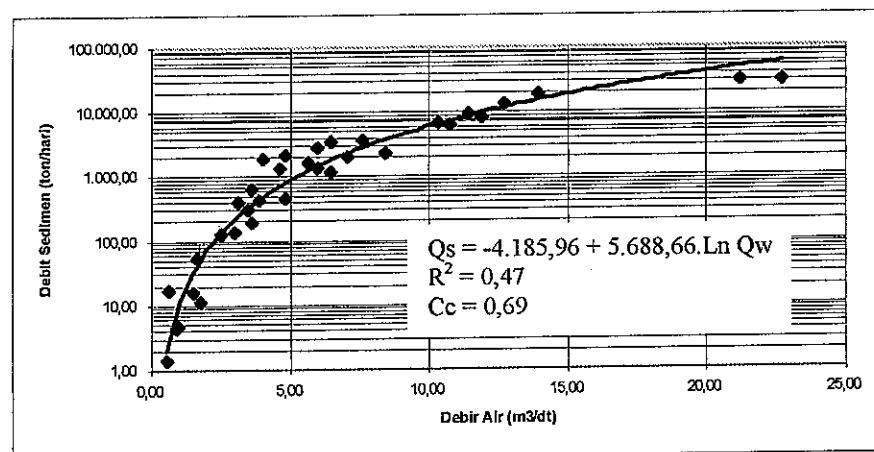


Pada Gambar 4.7 terlihat sebaran data log  $Q_w$  dan log  $Q_s$  membentuk hubungan garis lurus, hubungan seperti ini adalah linier sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva linier/berpangkat dengan persamaan  $Q_s = 10,87.Q_w^{2,75}$ . Model regresi ini baik dan korelasinya kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi ( $C_c$ ) 0,97 dan koefisien determinasi 0,94.



Gambar 4.8 Diagram scatter  $Q_w$  -  $\ln Q_s$  sungai Lumajang

Pada Gambar 4.8 diatas terlihat sebaran data  $Q_w$  dan  $\ln Q_s$  membentuk kurva cekung, hubungan seperti ini adalah non linier / eksponensial sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva eksponensial dengan persamaan  $Q_s = 49,69.exp(0,41.Q_w)$ . Model regresi ini tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi ( $C_c$ ) 0,82 dan koefisien determinasi 0,67.



Gambar 4.9 Diagram scatter  $\ln Q_w$  -  $Q_s$  sungai Lumajang

Pada Gambar 4.9 terlihat sebaran data  $\ln Q_w$  dan  $Q_s$  membentuk kurva cekung, hubungan seperti ini adalah non linier / logaritma sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva logaritma dengan persamaan  $Q_s = -4.185,96 + 5.688,66.\ln Q_w$ . Model regresi ini tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi ( $C_c$ ) 0,69 dan koefisien determinasi 0,47.

Hasil dari model regresi diatas dapat diringkas seperti pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Persamaan regresi dengan menggunakan semua data yang ada

Jenis Kurva	Nama Sungai	Persamaan regresi	$C_c$	$R^2$
Berpangkat	Serayu	$Q_s = 0,08.Q_w^{2,36}$	0,92	0,85
	Merawu	$Q_s = 0,67.Q_w^{2,40}$	0,98	0,97
	Lumajang	$Q_s = 10,87.Q_w^{2,75}$	0,93	0,94
Eksponensial	Serayu	$Q_s = 788,30.\exp(0,01.Q_w)$	0,76	0,58
	Merawu	$Q_s = 1247,71.\exp(0,03.Q_w)$	0,75	0,56
	Lumajang	$Q_s = 49,69.\exp(0,41.Q_w)$	0,82	0,67
Logaritma	Serayu	$Q_s = -317239,21 + 78339,37.\ln Q_w$	0,60	0,35
	Merawu	$Q_s = -402136,92 + 121842,68.\ln Q_w$	0,70	0,49
	Lumajang	$Q_s = -4185,96 + 5688,66.\ln Q_w$	0,69	0,47

Berdasarkan Tabel 4.3 diatas maka persamaan regresi yang terpilih adalah persamaan regresi kurva berpangkat karena nilai koefisien korelasi dan koefisien determinasinya paling mendekati satu, yaitu :

- Sungai Serayu :  $Q_s = 0,08.Q_w^{2,36}$  (4.1)

- Sungai Merawu :  $Q_s = 0,67.Q_w^{2,40}$  (4.2)

- Sungai Lumajang :  $Q_s = 10,87.Q_w^{2,75}$  (4.3)

Perhitungan parameter statistik yang lebih detail dapat dilihat pada lampiran Tabel B-24 sampai dengan B-32.

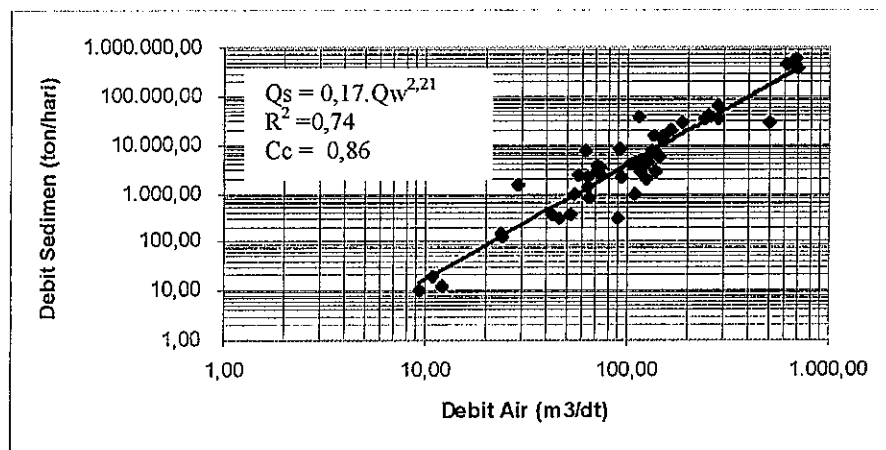
#### 4.3.2 Persamaan Regresi (Lengkung Laju Debit-Sedimen) Dengan Menggunakan Data Yang Dibagi Menjadi Dua Periode Musim

Perhitungan persamaan regresi dengan menggunakan data yang dibagi menjadi dua periode musim, musim hujan dan kemarau, hanya untuk sungai Serayu dan Merawu karena untuk sungai

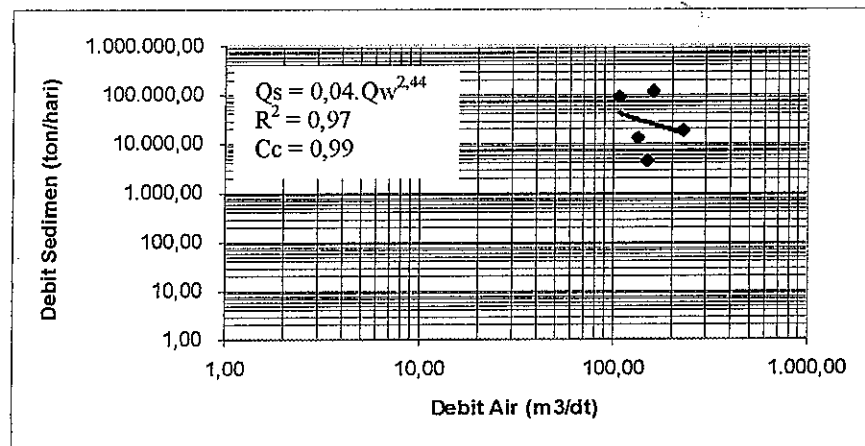
Lumajang tidak ada data pengukuran pada saat musim kemarau sehingga persamaan regresinya tetap, hal ini juga dengan pertimbangan bahwa sedimen layang yang lewat alur sungai Lumajang sangat kecil.

#### a. Lengkung Laju Debit-Sedimen Sungai Serayu

Dari data debit aliran dan debit sedimen layang sungai Serayu selama periode musim hujan dan kemarau dibuat diagram sebaran datanya (*scatter plots*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 sampai dengan 4.15 berikut.



Gambar 4.10 Diagram scater log Qw-log Qs sungai Serayu periode musim hujan

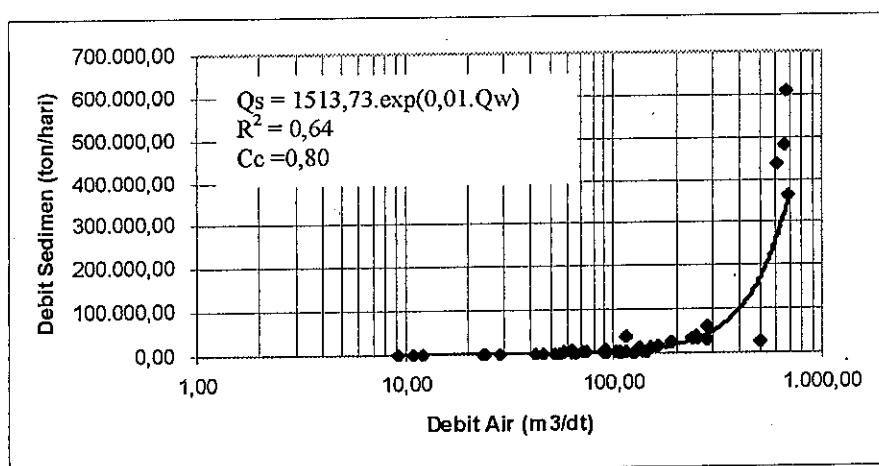


Gambar 4.11 Diagram scater log Qw-log Qs sungai Serayu periode musim kemarau

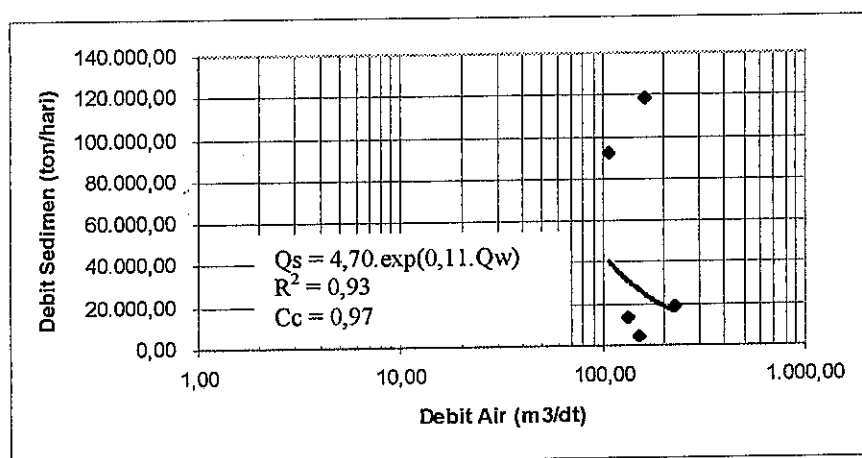
Pada Gambar 4.10 dan 4.11 terlihat sebaran data log  $Q_w$  dan log  $Q_s$  membentuk hubungan garis lurus, hubungan seperti ini adalah linier sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva linier/berpangkat dengan persamaan untuk :

- periode musim hujan :  $Q_s = 0,17.Q_w^{2,21}$  dengan koefisien korelasi 0,86 dan koefisien determinasi 0,74
- periode musim kemarau :  $Q_s = 0,04.Q_w^{2,44}$  dengan koefisien korelasi 0,99 dan koefisien determinasi 0,97

Model regresi ini baik dan korelasinya kuat ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi dan koefisien determinasi.



Gambar 4.12 Diagram scater  $Q_w$  –  $\ln Q_s$  sungai Serayu periode musim hujan

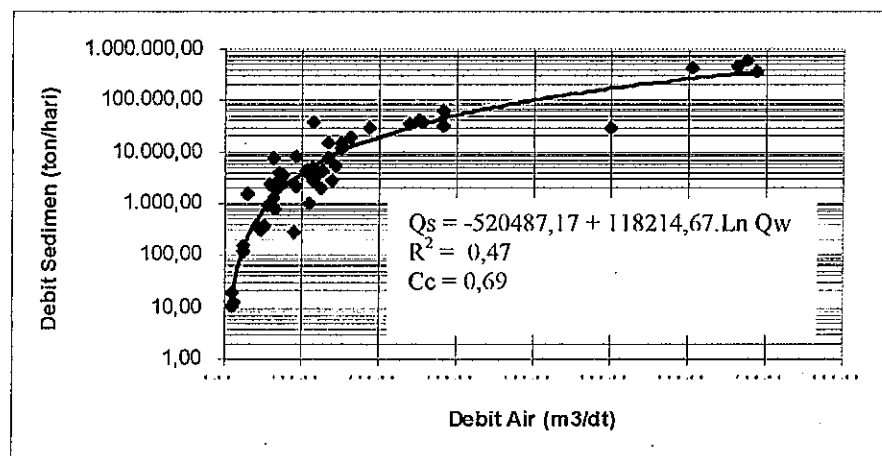


Gambar 4.13 Diagram scater  $Q_w$  –  $\ln Q_s$  sungai Serayu periode musim kemarau

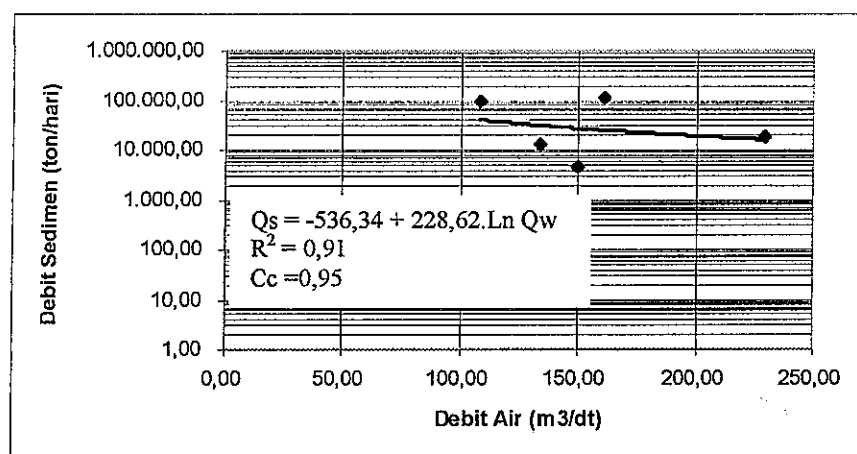
Pada Gambar 4.12 dan 4.13 diatas terlihat sebaran data  $Q_w$  dan  $\ln Q_s$  membentuk kurva cekung, hubungan seperti ini adalah non linier / eksponensial sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva eksponensial dengan persamaan untuk :

- periode musim hujan :  $Q_s = 1.513,73.\exp(0,01.Q_w)$  dengan koefisien korelasi 0,80 dan koefisien determinasi 0,64
- periode musim kemarau :  $Q_s = 4,70.\exp(0,11.Q_w)$  dengan koefisien korelasi 0,97 dan koefisien determinasi 0,93

Model regresi untuk musim kemarau baik dan korelasinya kuat sedang model regresi untuk musim hujan tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi.



Gambar 4.14 Diagram scater  $\ln Q_w - Q_s$  sungai Serayu periode musim hujan



Gambar 4.15 Diagram scater  $\ln Q_w - Q_s$  sungai Serayu periode musim kemarau

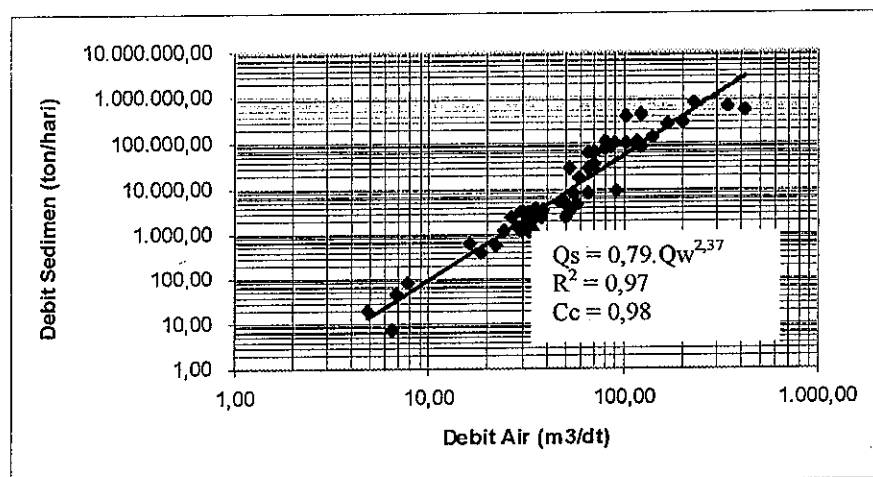
Pada Gambar 4.14 dan 4.15 terlihat sebaran data  $\ln Q_w$  dan  $Q_s$  membentuk kurva cembung, hubungan seperti ini adalah non linier / logaritma sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva logaritma dengan persamaan untuk :

- periode musim hujan :  $Q_s = -520.487,17 + 118.214,67 \cdot \ln Q_w$  dengan koefisien korelasi ( $C_c$ ) 0,69 dan koefisien determinasi 0,47
- periode musim kemarau :  $Q_s = -536,34 + 228,62 \cdot \ln Q_w$  dengan koefisien korelasi ( $C_c$ ) 0,95 dan koefisien determinasi 0,91

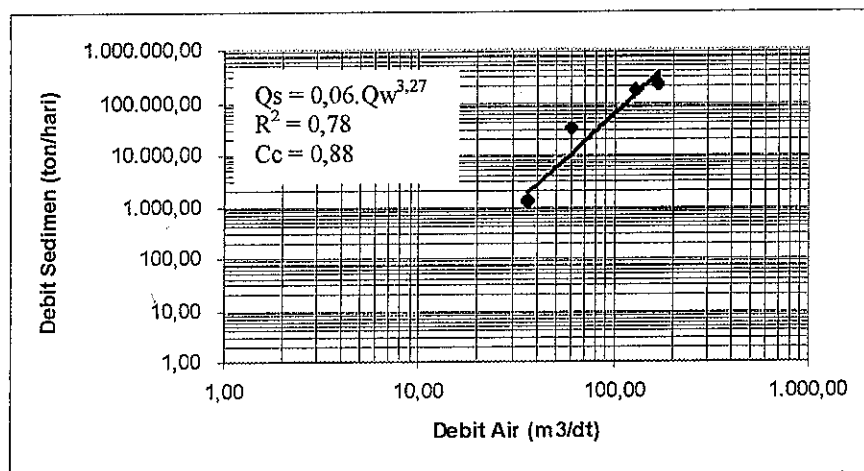
Model regresi untuk musim kemarau baik dan korelasinya kuat sedang model regresi untuk musim hujan tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi.

#### b. Lengkung Laju Debit-Sedimen Sungai Merawu

Dari data debit aliran dan debit sedimen layang sungai Merawu selama periode musim hujan dan kemarau dibuat diagram sebaran datanya (*scatter plots*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.16 sampai dengan 4.21 berikut.



Gambar 4.16 Diagram scater log  $Q_w$ -log  $Q_s$  sungai Merawu periode musim hujan

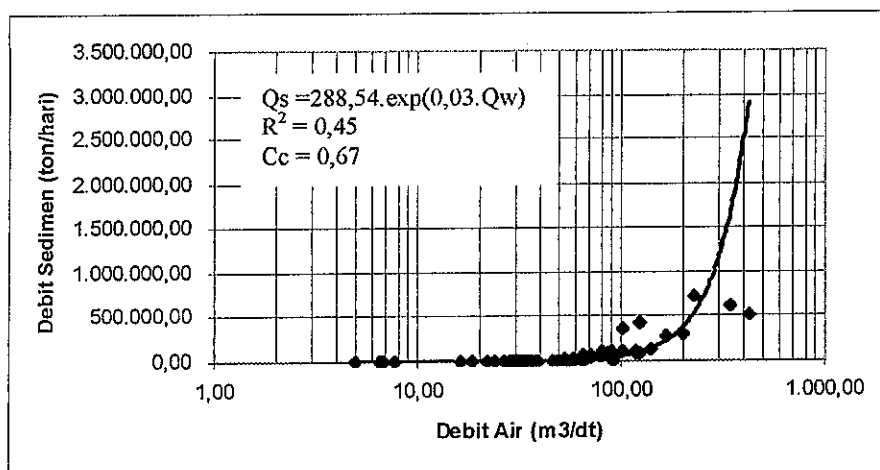


Gambar 4.17 Diagram scatter log Qw-log Qs sungai Merawu periode musim kemarau

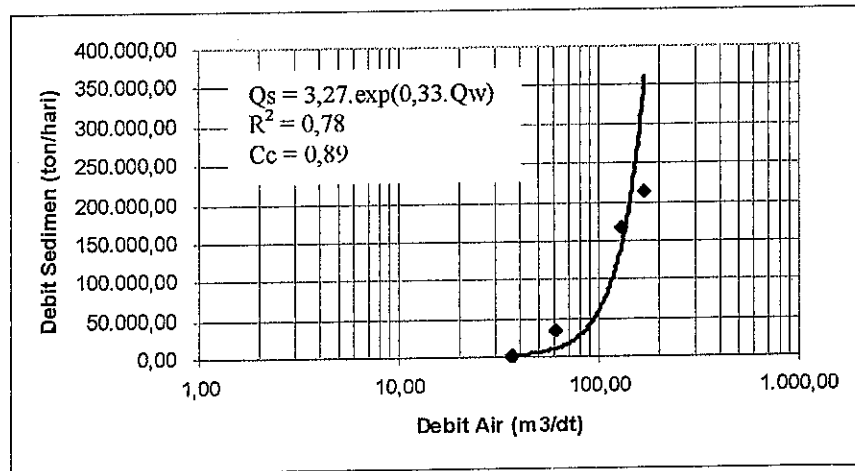
Pada Gambar 4.16 dan 4.17 terlihat sebaran data log Qw dan log Qs membentuk hubungan garis lurus, hubungan seperti ini adalah linier sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva linier/berpangkat dengan persamaan untuk :

- periode musim hujan :  $Q_s = 0,79.Q_w^{2,37}$  dengan koefisien korelasi 0,98 dan koefisien determinasi 0,97
- periode musim kemarau :  $Q_s = 0,06.Q_w^{3,27}$  dengan koefisien korelasi 0,88 dan koefisien determinasi 0,78

Model regresi ini baik dan korelasinya kuat ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi dan koefisien determinasi.



Gambar 4.18 Diagram scatter Qw -Ln Qs sungai Merawu periode musim hujan



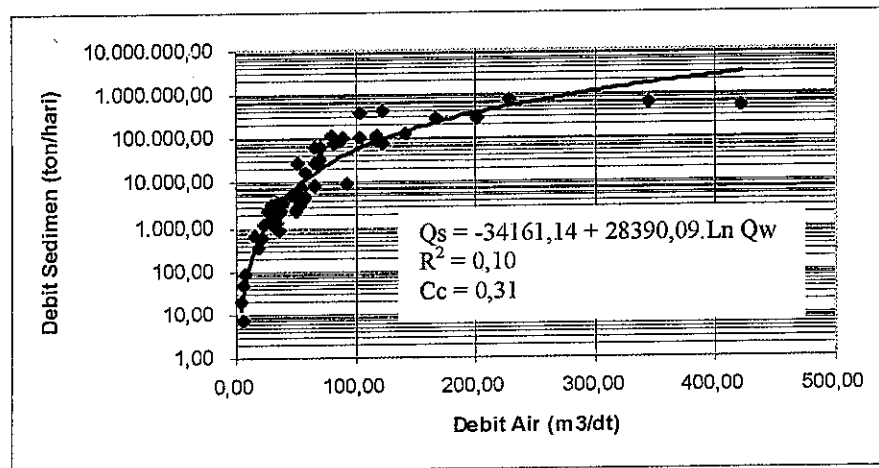
Gambar 4.19 Diagram scatter  $Q_w$ – $\ln Q_s$  sungai Merawu periode musim kemarau

Pada Gambar 4.18 dan 4.19 diatas terlihat sebaran data  $Q_w$  dan  $\ln Q_s$  membentuk kurva cekung, hubungan seperti ini adalah non linier / eksponensial sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva eksponensial dengan persamaan untuk :

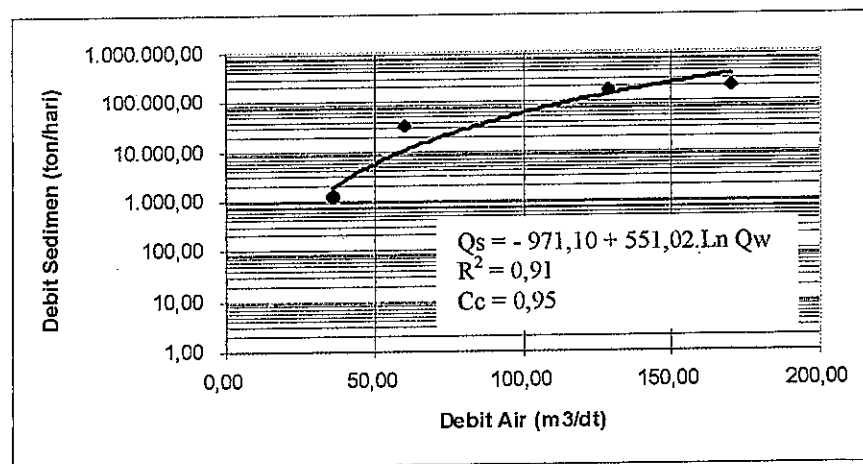
- periode musim hujan :  $Q_s = 288,54.exp(0,03.Q_w)$  dengan koefisien korelasi 0,67 dan koefisien determinasi 0,45
- periode musim kemarau :  $Q_s = 3,27.exp(0,33.Q_w)$  dengan koefisien korelasi 0,89 dan koefisien determinasi 0,78

Model regresi untuk musim kemarau baik dan korelasinya kuat sedang model regresi untuk musim hujan tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi.





Gambar 4.20 Diagram scatter Ln Qw – Qs sungai Merawu periode musim hujan



Gambar 4.21 Diagram scatter Ln Qw – Qs sungai Merawu periode musim kemarau

Pada Gambar 4.20 dan 4.21 terlihat sebaran data Ln Qw dan Qs membentuk kurva cembung, hubungan seperti ini adalah non linier / logaritma sehingga model regresi yang sesuai untuk data ini adalah kurva logaritma dengan persamaan untuk :

- periode musim hujan :  $Q_s = -34.161,14 + 28.390,09.Ln Q_w$  dengan koefisien korelasi (Cc) 0,31 dan koefisien determinasi 0,10
- periode musim kemarau :  $Q_s = -971,10 + 551,02.Ln Q_w$  dengan koefisien korelasi (Cc) 0,95 dan koefisien determinasi 0,91

Model regresi untuk musim kemarau baik dan korelasinya kuat sedang model regresi untuk musim hujan tidak baik dan korelasinya kurang kuat ditunjukkan dengan koefisien korelasi dan koefisien determinasi.

Hasil dari model regresi diatas dapat diringkas seperti pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Persamaan regresi menggunakan data yang dibagi menjadi dua periode musim

Jenis Kurva	Periode	Nama Sungai	Persamaan Regresi	Cc	R <sup>2</sup>
Berpangkat	Hujan	Serayu	$Q_s = 0,17.Q_w^{2,21}$	0,86	0,74
		Merawu	$Q_s = 0,79.Q_w^{2,37}$	0,98	0,97
	Kemarau	Serayu	$Q_s = 0,04.Q_w^{2,44}$	0,99	0,97
		Merawu	$Q_s = 0,06.Q_w^{3,27}$	0,88	0,78
Eksponensial	Hujan	Serayu	$Q_s = 1513,73.exp(0,01.Q_w)$	0,80	0,64
		Merawu	$Q_s = 288,54.exp(0,03.Q_w)$	0,67	0,45
	Kemarau	Serayu	$Q_s = 4,70.exp(0,11.Q_w)$	0,97	0,93
		Merawu	$Q_s = 3,27.exp(0,33.Q_w)$	0,89	0,78
Logaritma	Hujan	Serayu	$Q_s = -520487,17 + 118214,67.Ln Q_w$	0,69	0,47
		Merawu	$Q_s = -34161,14 + 28390,09.Ln Q_w$	0,31	0,10
	Kemarau	Serayu	$Q_s = -536,34 + 228,62.Ln Q_w$	0,95	0,91
		Merawu	$Q_s = -971,10 + 551,02.Ln Q_w$	0,95	0,91

Berdasarkan Tabel 4.4 diatas maka persamaan regresi yang terpilih untuk sungai Serayu adalah persamaan regresi kurva berpangkat karena nilai koefisien korelasi dan koefisien determinasinya paling mendekati satu. Berdasarkan nilai koefisien korelasi dan determinasinya maka untuk sungai Merawu pada periode musim kemarau persamaan regresi kurva eksponensial dan kurva logaritma menghasilkan nilai koefisien korelasi dan determinasi yang lebih besar atau lebih mendekati satu daripada kurva berpangkat. Tetapi untuk debit aliran ( $Q_w$ )  $0 \text{ m}^3/\text{dt}$ , persamaan regresi kurva eksponensial dan kurva berpangkat tetap menghasilkan debit sedimen ( $Q_s \neq 0$ ), sehingga persamaan kurva eksponensial dan kurva logaritma tidak mungkin digunakan. Maka untuk sungai Merawu persamaan regresi yang terpilih adalah persamaan regresi kurva berpangkat. Persamaannya adalah sebagai berikut :

- Sungai Serayu : periode musim hujan  $Q_s = 0,17.Q_w^{2,21}$  (4.4)

periode musim kemarau  $Q_s = 0,04.Q_w^{2,44}$  (4.5)

- Sungai Merawu : periode musim hujan  $Q_s = 0,79.Q_w^{2,37}$  (4.6)

periode musim kemarau  $Q_s = 0,06.Q_w^{3,27}$  (4.7)

Perhitungan parameter statistik yang lebih detail dapat dilihat pada lampiran Tabel B-33 sampai dengan B-44.

#### 4.4 Perhitungan Sedimen Layang

Besarnya sedimen layang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) yang didapat berdasarkan besarnya debit aliran rata-rata harian yang terjadi tiap bulan dengan enam cara sebagai berikut :

- Sedimen layang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi (3.1) sampai (3.3) berdasarkan besarnya debit aliran rata-rata harian yang belum dikoreksi (debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran), untuk selanjutnya diberi simbol  $Q_{sps1}$ .
- Sedimen layang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi kurva berpangkat (4.1) sampai (4.3) berdasarkan besarnya debit aliran rata-rata harian yang belum dikoreksi (debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran), untuk selanjutnya diberi simbol  $Q_{sps2}$ .
- Sedimen layang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi kurva berpangkat (4.3) untuk sungai Lumajang dan persamaan (4.4) sampai (4.7) untuk sungai Serayu dan Merawu berdasarkan besarnya debit aliran rata-rata harian yang belum dikoreksi (debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran), untuk selanjutnya diberi simbol  $Q_{sps3}$ .
- Sedimen layang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi (3.1) sampai (3.3) berdasarkan besarnya debit aliran rata-rata harian yang sudah dikoreksi (debit harian kontinu), untuk selanjutnya diberi simbol  $Q_{spt1}$ .
- Sedimen layang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi kurva berpangkat (4.1) sampai (4.3) berdasarkan besarnya debit aliran rata-rata harian yang sudah dikoreksi (debit harian kontinu), untuk selanjutnya diberi simbol  $Q_{spt2}$ .
- Sedimen layang dihitung dengan menggunakan persamaan regresi kurva berpangkat (4.3) untuk sungai Lumajang dan persamaan (4.4) sampai (4.7) untuk sungai Serayu dan Merawu berdasarkan besarnya debit aliran rata-rata harian yang sudah dikoreksi (debit harian kontinu), untuk selanjutnya diberi simbol  $Q_{spt3}$ .

Untuk mendapatkan debit rata-rata harian yang terjadi tiap bulan dari data pengukuran debit aliran harian digunakan kurva massa debit (lengkung waktu aliran) yaitu kurva hubungan antara debit dengan durasi yang merupakan frekwensi kumulatif. Perhitungan frekwensi kumulatif debit aliran harian dapat dilihat pada lampiran Tabel D-1 sampai dengan D-9. Kurva massa debit bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990 dapat dilihat pada lampiran Gambar D-1 sampai dengan D-6.

#### 4.4.1 Perhitungan Angkutan Sedimen Layang Melalui Alur Sungai Serayu

Rekapitulasi hasil perhitungan debit aliran dan angkutan sedimen layang melalui alur sungai Serayu dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan debit aliran sungai Serayu

Bulan	Debit Aliran	
	Belum dikoreksi m <sup>3</sup> /bulan	Dikoreksi m <sup>3</sup> /bulan
Nopember 1989	89.858.206,66	100.254.801,17
Desember 1989	125.945.031,86	137.141.545,19
Januari 1990	181.127.614,23	200.979.200,75
Pebruari 1990	219.960.616,78	242.286.619,38
Maret 1990	193.401.334,02	221.328.486,66
April 1990	165.895.356,10	180.261.893,93
Mei 1990	93.062.347,20	98.878.743,90
Juni 1990	76.789.757,38	81.880.918,29
Juli 1990	49.790.116,80	52.817.355,90
Agustus 1990	35.537.011,20	37.303.200,66
September 1990	47.953.296,00	49.626.866,03
Oktober 1990	46.715.699,29	53.554.877,67
JUMLAH	1.326.036.387,51	1.456.314.509,53

Tabel 4.6 Hasil perhitungan sedimen layang melalui alur sungai Serayu

Bulan	Debit Sedimen Layang					
	$Q_{sps1}$ ton/bulan	$Q_{sps2}$ ton/bulan	$Q_{sps3}$ ton/bulan	$Q_{spt1}$ ton/bulan	$Q_{spt2}$ ton/bulan	$Q_{spt3}$ ton/bulan
Nopember 1989	55.474,17	18.575,00	21.037,86	69.691,48	24.051,42	26.796,70
Desember 1989	85.935,30	28.290,70	32.404,48	102.625,33	34.588,79	39.115,47
Januari 1990	172.995,87	61.921,22	67.768,16	214.863,49	79.146,61	85.279,28
Pebruari 1990	337.919,50	139.131,31	141.008,35	413.341,45	174.786,67	174.594,51
Maret 1990	283.857,33	121.953,17	120.462,13	375.990,05	167.662,83	162.295,91
April 1990	163.736,76	60.203,61	43.331,89	194.677,35	73.239,78	53.066,17
Mei 1990	40.873,88	11.852,34	7.943,57	46.378,36	13.675,42	9.209,97
Juni 1990	44.418,06	15.126,68	10.686,34	50.776,21	17.601,07	12.498,40
Juli 1990	12.540,91	3.220,76	2.086,90	14.182,38	3.702,15	2.410,17
Agustus 1990	7.318,43	1.841,19	1.188,37	8.096,88	2.064,49	1.337,68
September 1990	10.567,94	2.571,64	1.638,28	11.351,12	2.788,50	1.781,31
Oktober 1990	9.746,44	2.342,54	3.185,14	12.956,94	3.233,85	4.307,86
JUMLAH	1.225.384,60	467.030,17	452.741,47	1.514.931,06	596.541,58	572.693,44

Perhitungan debit aliran dan debit sedimen layang rata-rata harian untuk tiap bulan yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran Tabel E-1 sampai dengan E-12. Sedang perhitungan debit aliran dan sedimen layang yang masuk waduk lewat alur sungai Serayu antara bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990 dapat dilihat pada lampiran Tabel E-13.

#### 4.4.2 Perhitungan Angkutan Sedimen Layang Melalui Alur Sungai Merawu

Rekapitulasi hasil perhitungan debit aliran dan angkutan sedimen layang melalui alur sungai Merawu dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan debit aliran sungai Merawu

Bulan	Debit Aliran	
	Belum dikoreksi m <sup>3</sup> /bulan	Dikoreksi m <sup>3</sup> /bulan
Nopember 1989	49.381.057,73	55.094.446,11
Desember 1989	57.476.674,83	62.586.351,22
Januari 1990	121.145.794,39	134.423.373,45
Pebruari 1990	85.689.273,60	94.386.734,87
Maret 1990	100.511.427,57	115.025.277,71
April 1990	58.626.680,26	63.703.750,77
Mei 1990	50.923.128,21	54.105.823,72
Juni 1990	32.838.048,00	35.015.210,58
Juli 1990	25.819.776,00	27.389.618,38
Agustus 1990	22.074.879,97	23.172.001,51
September 1990	27.555.552,00	28.517.240,76
Oktober 1990	24.843.499,20	28.480.587,48
JUMLAH	656.885.791,76	721.900.416,57

Tabel 4.8 Hasil perhitungan sedimen layang melalui alur sungai Merawu

Bulan	Debit Sedimen Layang					
	$Q_{sps1}$ ton/bulan	$Q_{sps2}$ ton/bulan	$Q_{sps3}$ ton/bulan	$Q_{spt1}$ ton/bulan	$Q_{spt2}$ ton/bulan	$Q_{spt3}$ ton/bulan
Nopember 1989	160.648,00	36.243,13	38.569,96	194.466,85	47.134,57	49.996,16
Desember 1989	182.909,27	37.494,84	40.136,97	212.216,81	45.998,40	49.114,09
Januari 1990	888.574,30	453.371,97	464.167,84	1.065.391,44	581.907,75	593.908,48
Pebruari 1990	392.979,93	110.360,16	116.462,30	465.193,16	139.179,45	146.449,75
Maret 1990	630.290,15	305.259,14	312.664,30	797.551,74	421.944,67	430.435,22
April 1990	196.129,30	42.263,92	69.111,35	226.717,01	51.586,62	90.677,04
Mei 1990	200.710,31	66.985,34	253.666,01	223.107,25	77.476,36	309.284,32
Juni 1990	71.040,79	10.383,78	10.055,05	79.461,60	12.113,40	12.403,66
Juli 1990	44.979,45	5.399,39	4.005,39	49.859,12	6.221,08	4.858,10
Agustus 1990	33.844,95	3.616,89	2.295,53	36.834,31	4.063,42	2.690,09
September 1990	53.104,53	7.144,46	6.394,81	56.380,54	7.757,57	7.153,94
Oktober 1990	51.201,80	8.319,79	8.976,89	64.987,05	11.548,33	12.409,45
JUMLAH	2.906.412,76	1.086.842,81	1.326.506,39	3.472.166,89	1.406.931,62	1.709.380,29

Perhitungan debit aliran dan debit sedimen layang rata-rata harian untuk tiap bulan yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran Tabel E-14 sampai dengan E-25. Sedang perhitungan debit aliran dan sedimen layang yang masuk waduk lewat alur sungai Merawu antara bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990 dapat dilihat pada lampiran Tabel E-26.

#### 4.4.3 Perhitungan Angkutan Sedimen Layang Melalui Alur Sungai Lumajang

Rekapitulasi hasil perhitungan debit aliran dan angkutan sedimen layang melalui alur sungai Lumajang dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan debit aliran sungai Lumajang

Bulan	Debit Aliran	
	Belum dikoreksi m <sup>3</sup> /bulan	Dikoreksi m <sup>3</sup> /bulan
Nopember 1989	77.760,00	86.756,83
Desember 1989	326.764,80	355.814,19
Januari 1990	234.627,84	260.343,05
Pebruari 1990	189.907,20	209.182,78
Maret 1990	137.937,60	157.855,79
April 1990	34.992,00	38.022,31
Mei 1990	6.696,00	7.114,50
Juni 1990	3.888,00	4.145,77
Juli 1990	9.374,40	9.944,36
Agustus 1990	53.568,00	56.230,33
September 1990	76.464,00	79.132,59
Oktober 1990	30.801,60	35.310,95
JUMLAH	1.182.781,44	1.299.853,47



Tabel 4.10 Hasil perhitungan sedimen layang melalui alur sungai Lumajang

Bulan	Debit Sedimen Layang			
	$Q_{sps1}$ ton/bulan	$Q_{sps2}$ ton/bulan	$Q_{spt1}$ ton/bulan	$Q_{spt2}$ ton/bulan
Nopember 1989	1,89	1,95	2,59	2,63
Desember 1989	211,65	174,55	270,63	220,62
Januari 1990	29,41	26,82	39,71	35,70
Pebruari 1990	24,96	22,77	32,99	29,70
Maret 1990	13,01	12,25	19,21	17,75
April 1990	0,20	0,23	0,25	0,28
Mei 1990	0,00	0,00	0,00	0,01
Juni 1990	0,00	0,00	0,00	0,00
Juli 1990	0,01	0,01	0,01	0,01
Agustus 1990	1,29	1,36	1,49	1,55
September 1990	3,84	3,82	4,24	4,20
Oktober 1990	0,11	0,13	0,16	0,19
JUMLAH	286,37	243,89	371,28	312,65

Perhitungan debit aliran dan debit sedimen layang rata-rata harian untuk tiap bulan yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran Tabel E-27 sampai dengan E-38. Sedang perhitungan debit aliran dan sedimen layang yang masuk waduk lewat alur sungai Lumajang antara bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990 dapat dilihat pada lampiran Tabel E-39.

#### 4.5 Perhitungan Angkutan Sedimen Layang Yang Mengendap di Waduk

Jumlah angkutan sedimen layang yang masuk waduk melalui alur sungai Serayu, Merawu dan Lumajang tidak semuanya akan mengendap di dalam waduk, tetapi ada sebagian yang akan keluar waduk yaitu melalui turbin, outlet, pelimpah ataupun bangunan pengambilan. Untuk mengetahui seberapa besar sedimen layang yang mengendap di waduk harus dicari nilai *Trap efficiency*-nya, dalam penelitian ini *Trap Efficiency* dihitung dengan Metode Brune.

Metode Brune menggunakan data masukan berupa perbandingan antara kapasitas waduk (C) dengan aliran air rata-rata yang masuk ke dalam waduk pada periode yang ditinjau (I). Kapasitas waduk yang digunakan adalah kapasitas waduk pada periode pengukuran Oktober 1990 yaitu sebesar 141.463.00 m<sup>3</sup>.

Untuk mendapatkan debit rata-rata harian yang masuk waduk yang terjadi tiap bulan dari data pengukuran debit aliran harian digunakan kurva massa debit. Dari perhitungan debit aliran harian rata-rata yang masuk waduk pada tiap bulan dapat dihitung besarnya aliran air yang masuk waduk dari bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990, besarnya debit seperti terlihat pada Tabel 4.11. Dengan menggunakan grafik dari Brune (Gambar 2.1) untuk nilai perbandingan antara kapasitas waduk dengan aliran air yang masuk waduk akan didapat nilai *Trap Efficiency* seperti pada Tabel 4.14 berikut ini.

Tabel 4.11 Perhitungan *Trap Efficiency*

Uraian	Debit aliran belum dikoreksi	Debit aliran sudah dikoreksi
Kapasitas waduk (m <sup>3</sup> )	141.463.000,00	141.463.000,00
Inflow (m <sup>3</sup> )	2.354.049.071,54	2.581.311.543,94
C/I	0,06	0,055
<i>Trap Efficiency</i>	80 %	76,25 %

Perhitungan debit aliran harian rata-rata yang masuk waduk pada tiap bulan yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran Tabel E-44 sampai dengan E-56. Perhitungan frekwensi kumulatif debit aliran harian yang masuk ke waduk bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990 dapat dilihat pada lampiran Tabel D-10, D-11 dan D-12. Kurva massa debit waduk bulan Nopember 1989 sampai dengan Oktober 1990 disajikan pada lampiran Gambar D-7 sampai dengan D-8.

Sedimen layang yang akan mengendap di waduk berdasarkan angkutan sedimen layang yang masuk waduk melalui alur sungai dan nilai *Trap Efficiency*-nya dapat dilihat pada tabel perhitungan berikut ini.

Tabel 4.12 Perhitungan sedimen layang yang mengendap di Waduk

Sungai	$Q_{sps1}$ (ton)	$Q_{sps2}$ (ton)	$Q_{sps3}$ (ton)	$Q_{spt1}$ (ton)	$Q_{spt2}$ (ton)	$Q_{spt3}$ (ton)
Serayu	1.225.384,60	467.030,17	452.741,47	1.514.931,06	596.541,58	572.693,44
Merawu	2.906.412,76	1.086.842,81	1.326.506,39	3.472.166,89	1.406.931,62	1.709.380,29
Lumajang	286,37	243,89	243,89	371,28	312,65	312,65
Jumlah	4.132.083,73	1.554.116,87	1.779.491,75	4.987.469,23	2.003.785,85	2.282.386,38
Trap efficiency	80 %	80 %	80 %	76,25 %	76,25 %	76,25 %
Sedimen layang yang mengendap di waduk	3.305.666,98	1.243.293,50	1.423.593,40	3.802.945,29	1.527.886,71	1.740.319,62

#### 4.6 Perhitungan Sedimen Dasar

Kondisi sungai dan jenis material dasar di Waduk PB Sudirman sangat spesifik, sungai-sungainya mempunyai karakteristik seperti sungai-sungai di daerah pegunungan, alirannya deras, tetapi dengan jenis material dasar yang relatif halus. Berdasarkan penelitian yang telah ada (Fakultas Teknik UGM, 1994) Jenis bahan dasar sungainya adalah pasir dan tekstur dari material suspensi sebagian besar berupa pasir. Untuk selanjutnya dalam memprediksi besarnya sedimen dasar digunakan Tabel 2.1 yang memberikan perkiraan sedimen dasar berdasarkan prosentase dari hasil hitungan angkutan sedimen layang yang masuk waduk.

Dari hasil perhitungan didapatkan pada sungai Serayu dan Lumajang konsentrasi sedimen suspensinya dibawah 1000 mg/liter sementara pada sungai Merawu konsentrasi sedimen suspensinya di atas 1000 mg/liter. Perhitungan besarnya konsentrasi sedimen layang yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran Tabel E-40 sampai dengan E-43.

Berdasarkan konsentrasi sedimen layang, jenis bahan dasar sungai dan tekstur dari material suspensinya maka menurut Tabel 2.1, besarnya sedimen dasar sungai Serayu dan sungai Lumajang adalah sebesar 25% - 150 % dari muatan sedimen layangnya sedangkan sedimen dasar sungai Merawu adalah sebesar 10% - 35 % dari muatan sedimen layangnya. Perhitungan sedimen dasar yang masuk ke dalam waduk dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut ini.

Tabel 4.13 Perhitungan sedimen dasar yang masuk waduk

Sungai	% thd sed. layang	$Q_{sps1}$ (ton)	$Q_{sps2}$ (ton)	$Q_{sps3}$ (ton)	$Q_{spt1}$ (ton)	$Q_{spt2}$ (ton)	$Q_{spt3}$ (ton)
Serayu	25- 150	306.346,15	116.757,54	113.185,37	378.732,77	149.135,40	143.173,36
		s/d 1.838.076,90	s/d 700.545,26	s/d 679.112,21	s/d 2.272.396,59	s/d 894.812,37	s/d 859.040,16
Merawu	10 - 35	290.641,28	108.684,28	132.650,64	347.216,69	140.693,16	170.938,03
		s/d 1.017.244,47	s/d 380.394,98	s/d 464.277,24	s/d 1.215.258,41	s/d 492.426,07	s/d 598.283,10
Lumajang	25-150	71,59	60,97	60,97	92,82	78,16	78,16
		s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
		429,56	365,84	365,84	556,92	468,98	468,98
Jumlah		597.059,02	225.502,79	245.896,98	726.042,28	289.906,72	314.189,55
		s/d 2.855.750,93	s/d 1.081.306,08	s/d 1.143.755,29	s/d 3.488.211,92	s/d 1.387.707,42	s/d 1.457.792,24

#### 4.7 Perhitungan Sedimen Yang Mengendap di Waduk

Volume sedimen yang mengendap di dalam waduk antara dua periode pengukuran didapat dengan mengurangkan kapasitas waduk hasil pengukuran antara dua periode. Volume sedimen yang mengendap di Waduk PB Sudirman periode Nopember 1989 – Oktober 1990 adalah :

$$\begin{aligned}\text{Volume sedimen waduk} &= (144,904 \text{ juta} - 141,463 \text{ juta}) \text{ m}^3 \\ &= 3,441 \text{ juta m}^3\end{aligned}$$

Sehingga sedimen yang mengendap di dalam waduk berdasarkan pengukuran sedimentasi waduk adalah  $= 3,441 \text{ juta} \times 0,75 = 2.580.750 \text{ ton}$ .

Besarnya sedimen yang mengendap di dalam waduk berdasarkan perhitungan angkutan sedimen layang melalui alur sungai dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut ini.

Tabel 4.14 Perhitungan sedimen yang mengendap di waduk

Uraian	Sedimen layang (ton)	Sedimen dasar (ton)	Sedimen yang mengendap di waduk (ton)	Error (%)
Q <sub>sps1</sub>	3.305.666,98	597.059,02 s/d	3.902.726,00 s/d	51,22 s/d
		2.855.750,93	6.161.417,91	138,74
Q <sub>sps2</sub>	1.243.293,50	225.502,79 s/d	1.468796,29 s/d	9,93 s/d
		1.081.306,08	2.324.599,58	43,09
Q <sub>sps3</sub>	1.423.593,40	245.896,98 s/d	1.669.490,38 s/d	0,52 s/d
		1.143.755,29	2.567.348,69	35,31
Q <sub>spt1</sub>	3.802.945,29	726.042,28 s/d	4.528.987,57 s/d	75,49 s/d
		3.488.211,92	7.291.157,21	182,52
Q <sub>spt2</sub>	1.527.886,71	289.906,72 s/d	1.817.793,43 s/d	12,97 s/d
		1.387.707,42	2.915.594,13	29,56
Q <sub>spt3</sub>	1.740.319,62	314.189,55 s/d	2.054.509,17 s/d	20,39 s/d
		1.457.792,24	3.198.111,86	23,92

Untuk mengetahui tingkat akurasi dari hasil hitungan sedimen yang mengendap di waduk pada Tabel 4.14 diatas maka perlu dihitung kesalahan (*Error*) antara hasil perhitungan berdasarkan angkutan sedimen layang melalui alur sungai dan hasil perhitungan berdasarkan pengukuran sedimentasi waduk sesuai dengan rumus (2.23) yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.14 diatas.

Berdasarkan tabel 4.14 diatas perhitungan sedimen waduk dengan menggunakan lengkung laju debit-sedimen yang biasa digunakan (persamaan 3.1 sampai 3.3) yaitu Q<sub>sps1</sub> dan Q<sub>spt1</sub> akan menghasilkan sedimen yang lebih besar dari sedimen waduk hasil pengukuran, berkisar antara 51,22 % sampai 182,52 % baik dengan debit sebelum dikoreksi (debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran) ataupun sesudah dikoreksi (debit harian kontinu). Perhitungan sedimentasi waduk dengan menggunakan lengkung laju debit-sedimen persamaan 4.1 sampai 4.7 dan debit yang belum dikoreksi (debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran) yaitu Q<sub>sps2</sub> dan Q<sub>sps3</sub> menghasilkan sedimen waduk yang lebih kecil 0,52 % sampai 43,09 % dari sedimen waduk hasil pengukuran. Sedang penggunaan lengkung laju debit-sedimen persamaan 4.1 sampai 4.7 dan debit yang sudah dikoreksi (debit harian kontinu) yaitu Q<sub>spt2</sub> dan Q<sub>spt3</sub> menghasilkan sedimen waduk yang lebih kecil hingga 29,56% dan lebih besar hingga 23,92 % dari sedimen waduk hasil pengukuran tergantung dari besarnya prosentase sedimen dasar terhadap sedimen layang. Penggunaan

lengkung laju debit-sedimen yang dikembangkan dengan menggunakan seluruh data periode 11 bulan (persamaan 4.1 sampai 4.3), dalam perhitungan  $Q_{sps2}$  dan  $Q_{spt2}$ , menghasilkan kesalahan maksimum yang lebih besar yaitu sebesar 45,09 % daripada penggunaan lengkung laju debit-sedimen yang dikembangkan dengan menggunakan data yang dibagi menjadi dua periode musim (persamaan 4.3 sampai 4.7), dalam perhitungan  $Q_{sps3}$  dan  $Q_{spt3}$ , sebesar 35,31 %. Demikian juga dengan pemakaian debit sebelum dikoreksi akan menghasilkan kesalahan yang lebih besar daripada debit yang sudah dikoreksi dengan perbedaan 13,53 % s/d 22,9 % untuk  $Q_{sps2}$  dibanding  $Q_{spt2}$  dan 14,92 % s/d 24,44 % untuk  $Q_{sps3}$  dibanding  $Q_{spt3}$ .

#### 4.8 Kontrol Data Untuk Persamaan Regresi

Hasil perhitungan sedimen waduk yang didapatkan ternyata masih ada kesalahan, kesalahan yang ada ini dapat disumbangkan dari data debit aliran dan konsentrasi sedimen yang digunakan untuk menurunkan persamaan regresi. Untuk melengkapi analisa maka data perlu dicek sehingga diketahui :

- jumlah data yang ada telah memenuhi syarat atau belum
- homogenitas datanya
- data *outlier*

Data pengukuran sedimen layang yang tersedia merupakan data berkala yang tidak kontinu (terputus), interval waktunya tidak sama, periode Peb' 88 – Okt' 88 dan Des' 88 –Peb '89. Berdasarkan perhitungan nilai kesalahan baku (*Standard Error / SE*), untuk masing-masing data besarnya  $SE \leq 10\%$  nilai rata-ratanya, sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang ada jumlahnya sudah cukup memenuhi syarat statistik. Hasil rekapitulasi perhitungan kesalahan baku (*Standard Error / SE*) dapat dilihat pada Tabel 4.15.

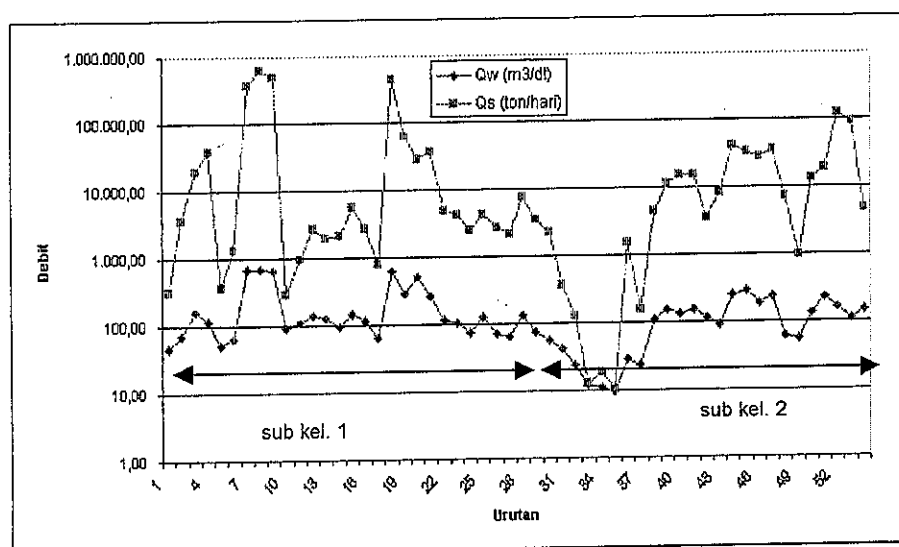
Berdasarkan periode pengambilan sampelnya maka data pada saat musim kemarau masih sedikit.

Tabel 4.15 Rekapitulasi perhitungan kesalahan baku (SE)

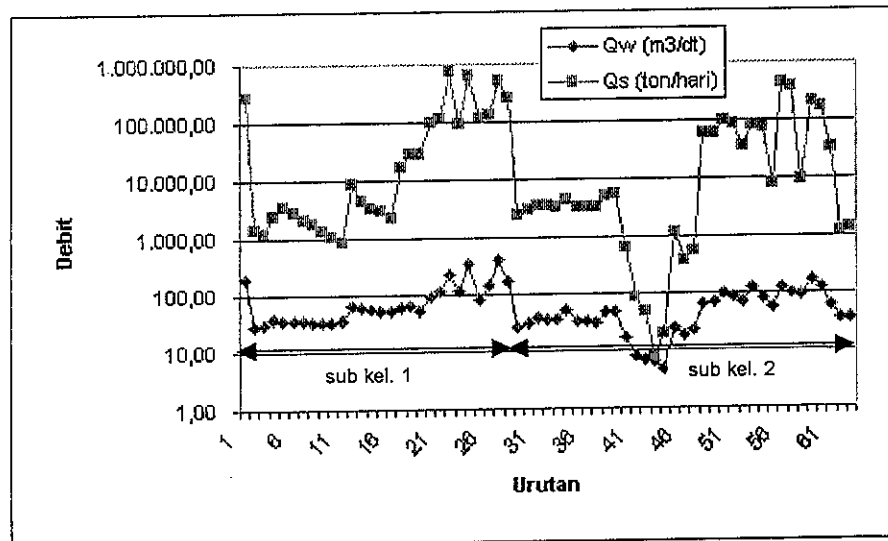
Debit	Sungai	Jumlah data	SE	10 % $\bar{X}$	Keterangan
Debit aliran (Qw)	Serayu	54	0,056	0,202	Jumlah data memenuhi
	Merawu	63	0,054	0,144	Jumlah data memenuhi
	Lumajang	35	0,065	0,065	Jumlah data memenuhi
Debit sedimen (Qs)	Serayu	54	0,145	0,368	Jumlah data memenuhi
	Merawu	63	0,140	0,392	Jumlah data memenuhi
	Lumajang	35	0,205	0,288	Jumlah data memenuhi

Lebih lengkapnya perhitungan parameter statistik kesalahan baku disajikan pada lampiran Tabel B-4 sampai dengan B-9, persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah persamaan (2.5) sampai dengan persamaan (2.8).

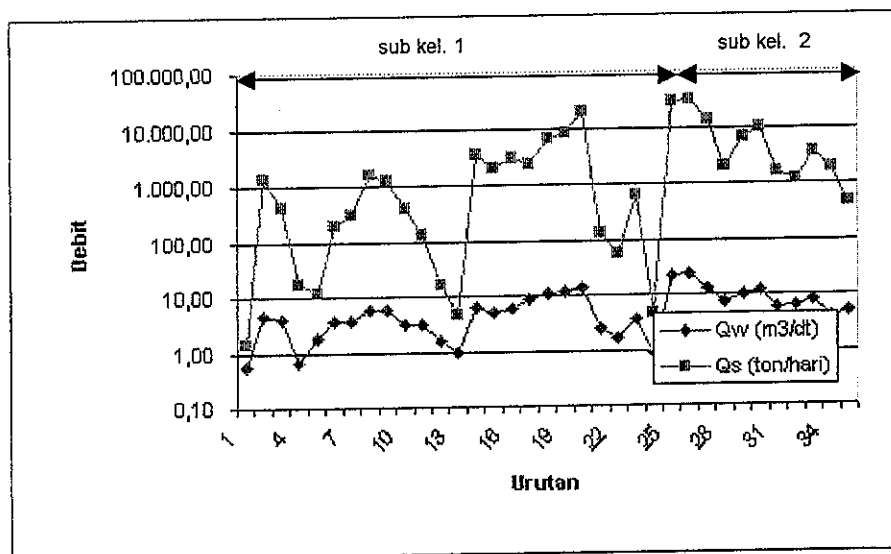
Untuk uji homogenitas terlebih dahulu dibuat grafik dari data yang diurutkan, baik data debit aliran maupun data debit sedimen layang. Dari penampakan grafiknya akan terlihat adanya perbedaan nilai rata-rata dan perbedaan varian dari satu sub kelompok terhadap sub kelompok lainnya. Dengan adanya perbedaan ini maka perlu diuji homogenitasnya. Dari Gambar 4.22 sampai dengan Gambar 4.24 terlihat bahwa dari data sampel sungai Serayu, Merawu dan Lumajang, naik dan turunnya debit sedimen layang mengikuti naik dan turunnya debit aliran, data yang ada mempunyai perbedaan nilai rata-rata dan perbedaan varian dari satu sub kelompok terhadap sub kelompok lainnya dan kecenderungan data terbagi menjadi dua sub kelompok baik data debit aliran maupun data debit sedimen layang.



Gambar 4.22 Grafik data sampel log Qw dan log Qs sungai Serayu



Gambar 4.23 Grafik data sampel log Qw dan log Qs sungai Merawu



Gambar 4.24 Grafik data sampel log Qw dan log Qs sungai Lumajang

Data dari masing-masing sub kelompok ini kemudian dihitung parameter statistiknya. Berdasarkan nilai parameter statistiknya, dihitung Uji Homogenitas terhadap  $\bar{X}$  (tc  $\bar{X}$  rata-rata) dan terhadap S (tc S) menggunakan persamaan (2.9) sampai dengan (2.11), kemudian dibandingkan nilainya dengan tc yang mengikuti distribusi *student t* (tc tabel) dengan tingkat



kepercayaan 0,05 dan derajat kebebasan  $n_1+n_2-2$ . Rekapitulasi hasil perhitungan uji homogenitas dapat dilihat pada Tabel 4.16 berikut ini.

Tabel 4.16 Rekapitulasi perhitungan uji homogenitas

Sungai	Debit	Jumlah Data		tc	tc	tc	Ket.
		Sub kel. 1	Sub kel. 2	$\bar{X}$	S	tabel	
Serayu	Qw	28	26	2,43	0,77	1,68	Tidak homogen
	Qs	28	26	0,85	0,47	1,68	Homogen
Merawu	Qw	28	35	2,56	0,54	1,66	Tidak homogen
	Qs	28	35	1,63	0,73	1,66	Homogen
Lumajang	Qw	24	11	3,17	1,11	1,69	Tidak homogen
	Qs	24	11	3,60	1,07	1,69	Tidak homogen

Dari Tabel 4.16 terlihat bahwa data sampel sungai Serayu dan Merawu nilai tc tabel lebih kecil dari nilai tc  $\bar{X}$  dan nilai tc tabel lebih besar dari nilai tc S sehingga dapat disimpulkan bahwa terhadap nilai rata-ratanya data sampel tidak homogen sedangkan terhadap S homogen. Data sampel sungai Lumajang, nilai tc  $\bar{X}$  dan tc S lebih besar dari nilai tc tabel, sehingga data sampel sungai Lumajang tidak homogen baik terhadap nilai rata-ratanya maupun terhadap S. Tidak homogennya data disebabkan karena :

- pengukuran dilakukan dalam jangka waktu 11 bulan sehingga kemungkinan adanya perubahan kondisi daerah pengaliran sungainya cukup besar
- faktor alat dalam pengambilan sampel serta prosedur pengambilan sampel

Untuk lebih jelasnya perhitungan uji homogenitas ini dapat dilihat pada lampiran Tabel B-22 dan perhitungan parameter statistiknya dapat dilihat pada lampiran Tabel B-10 sampai dengan B-21

Uji data *outlier* dilakukan untuk mengetahui adanya data yang menyimpang, perhitungan uji data *outlier* menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13). Rekapitulasi hasil perhitungan uji data *outlier* dapat dilihat pada Tabel 4.17. Berdasarkan Tabel 4.17 maka data sampel debit sungai Serayu dan Merawu tidak ada yang menyimpang, sedangkan untuk sungai Lumajang 8 data Qw dan 1 data Qs menyimpang. Data *outlier* tidak selalu harus dibuang sebab terkadang justru diperlukan dalam analisa terutama apabila jumlah sampel kecil.

Tabel 4.17 Rekapitulasi perhitungan uji data *outlier*

Sungai	Debit	Batas bawah data	Batas atas data
Serayu	Qw (m <sup>3</sup> /dt)	0,89	3,19
	Qs (ton/hari)	0,70	6,65
Merawu	Qw (m <sup>3</sup> /dt)	0,22	2,65
	Qs (ton/hari)	0,01	6,55
Lumajang	Qw (m <sup>3</sup> /dt)	0,41	1,71
	Qs (ton/hari)	0,30	6,06

Untuk lebih lengkapnya perhitungan uji data *outlier* dapat dilihat pada lampiran Tabel B-23.

Kesalahan yang disebabkan dari data yang digunakan untuk analisa adalah sebagai berikut :

- Pengambilan sampel konsentrasi sedimen dan debit dilakukan dengan menggunakan alat konvensional sehingga akan memberikan hasil yang lebih kecil karena ada bagian yang tidak dapat diukur oleh alat yaitu antara ujung alat dimana sampel diambil sampai dengan dasar sungai.
- Adanya sedimen yang langsung masuk ke dalam waduk yang tidak tercatat pada pos pengukuran.
- Waktu pengukuran kurang terwakili, kejadian pada malam hari tidak tercatat.
- Diskritisasi waktu untuk hitungan mungkin kurang pendek.
- Data pengambilan sampel konsentrasi sedimen yang ada merupakan data berkala yang tidak kontinu, interval waktu tidak sama.
- Data tidak homogen yang disebabkan karena pengambilan sampel dilakukan dalam jangka waktu 11 bulan sehingga kemungkinan adanya perubahan kondisi daerah pengaliran sungainya cukup besar, faktor kesalahan alat dan prosedur dalam pengambilan sampel.
- Terdapat data *outlier*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan pada Bab IV maka dapat ditarik kesimpulannya sebagai berikut :

1. Data yang digunakan untuk menurunkan persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) yang digunakan sekarang (tahun 2002) menghasilkan prakiraan sedimen waduk yang lebih besar dari sedimen waduk pengukuran, hal ini dikarenakan data sampel yang digunakan periode pengambilannya kurang panjang karena hanya dilakukan pada bulan Januari saja selain itu pengambilan sampel sedimen pada daerah genangan waduk akan memberikan konsentrasi yang lebih besar.
2. Persamaan regresi hasil pengembangan (lengkung laju debit-sedimen) adalah sebagai berikut :
  - a. Persamaan regresi dengan menggunakan semua data yang ada (periode 11 bulan)  
 Untuk sungai Serayu persamaannya  $Q_s = 0,08.Q_w^{2,36}$ , untuk sungai Merawu persamaannya  $Q_s = 0,67.Q_w^{2,40}$  dan untuk sungai Lumajang :  $Q_s = 10,87.Q_w^{2,75}$
  - b. Persamaan regresi dengan menggunakan data yang dibagi menjadi dua periode musim  
 Untuk sungai Serayu persamaannya pada periode musim hujan  $Q_s = 0,17.Q_w^{2,21}$  dan pada periode musim kemarau  $Q_s = 0,04.Q_w^{2,44}$ . Untuk sungai Merawu persamaannya pada periode musim hujan  $Q_s = 0,79.Q_w^{2,37}$  dan pada periode musim kemarau  $Q_s = 0,06.Q_w^{3,27}$
3. Data yang digunakan untuk mengembangkan persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) hasil pengembangan diatas meskipun periodenya sudah panjang tetapi data tidak kontinu dan jumlah sampelnya masih sangat terbatas terutama pada saat musim kemarau serta terdapat data outlier.
4. Dengan terbatasnya data yang ada maka persamaan regresi tidak dapat dikembangkan untuk diskritisasi waktu yang pendek (bulanan). Dengan diskritisasi waktu yang panjang (periode 11 bulan dan periode musim hujan dan kemarau) kemungkinan terjadinya perubahan-perubahan

pada Daerah Pengaliran Sungainya cukup besar, hal ini akan berakibat pada homogenitas datanya.

5. Perhitungan sedimentasi waduk dengan berbagai variasi menghasilkan kesalahan pada  $Q_{sps1}$  antara 51,22 % s/d 138,74 %, pada  $Q_{sps2}$  antara 9,93 % s/d 43,09 %, pada  $Q_{sps3}$  antara 0,52 % s/d 35,31 %, pada  $Q_{spt1}$  antara 75,49 % s/d 182,52 %, pada  $Q_{spt2}$  antara 12,97 % s/d 29,56 %, dan pada  $Q_{spt3}$  antara 20,39 % s/d 23,92 %.
6. Penggunaan debit harian kontinu (sesudah dikoreksi) menghasilkan kesalahan yang lebih kecil daripada penggunaan debit harian rata-rata tiga waktu pengukuran (sebelum dikoreksi), perbedaannya antara 13,53 % sampai 24,44 %.
7. Pemakaian lengkung laju debit-sedimen dengan diskritisasi waktu yang lebih pendek (data dibagi menjadi dua periode musim) menghasilkan kesalahan yang lebih kecil daripada pemakaian lengkung laju debit-sedimen dengan diskritisasi waktu yang lebih panjang (periode 11 bulan).

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan untuk perbaikan perhitungan dalam memprediksi sedimen layang dengan menggunakan lengkung laju debit-sedimen adalah sebagai berikut :

1. Lengkung laju debit-sedimen yang digunakan saat ini (tahun 2002) tidak dapat digunakan karena akan menghasilkan nilai prakiraan sedimen waduk yang lebih besar.
2. Data konsentrasi sedimen dan debit hendaknya merupakan data berkala yang kontinu dengan diukur menggunakan alat ukur yang otomatis, karena besarnya sedimen layang lebih ditentukan dari laju erosi lahan di bagian hulu daerah aliran sungainya.
3. Lokasi pengambilan sampel pada alur sungai yang terdekat dengan daerah genangan waduk bukan pada daerah genangan waduk

4. Persamaan regresi (lengkung laju debit-sedimen) dikembangkan untuk periode tiap bulan, dengan diskritisasi waktu yang pendek data sampel akan lebih homogen dan lebih mewakili karakteristik yang ada.
5. Debit aliran rata-rata harian sebaiknya menggunakan data yang kontinu, dengan menggunakan data debit dari nilai rata-rata tiga waktu pengukuran tidak mewakili debit yang sebenarnya terutama apabila terjadi banjir diluar jam-jam pengukuran tersebut.
6. Sedimen di daerah tangkapan waduk dan sungai-sungai kecil di sekitar waduk perlu diperhitungkan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ang, Alfredo H.S., dan Wilson H. Tang (1987), *Konsep-konsep Probabilitas Dalam Perencanaan dan Perancangan Rekayasa*, terjemahan Binsar Hariandja, Erlangga, Jakarta
2. Chay Asdak (1995), *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
3. Chow, V.T., David R. Maidment and Larry W. Mays (1988), *Applied Hidrology*, McGraw Hill, Singapura.
4. Edy Susilo (2001), *Kajian Efisiensi Tangkapan Sedimen Pada Beberapa Waduk di Jawa*, Tesis Magister Teknik Sipil UNDIP.
5. Hines, William W., and Douglas C. Montgomery (1990), *Probabilita dan Statistik dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen*, terjemahan Rusdiansyah, UI-Press, Jakarta.
6. Morris, Gregory L. and Jiahua Fan (1998), *Reservoir Sedimentation Handbook : Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*, McGraw-Hill Company.
7. Puslitbang Pengairan (1989), *Pengukuran Sedimentasi Untuk Waduk PLTA Mrica*, Departemen Pekerjaan Umum, Indonesia
8. Salamun (1998), *Suspended Load : Indikator Kerusakan DAS*, dalam Media Komunikasi Teknik Sipil Edisi X/XI Agustus 1998, hal. 51-55.
9. Spiegel, Murray R. (1975), *Probability and Statistics*, McGraw-Hill International Book Co, Singapura.
10. Soemarto, C.D. (1995), *Hidrologi Teknik*, Erlangga
11. Soewarno (1995), *Hidrologi : Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*, Nova, Bandung.
12. Sudjana (1986), *Metoda Statistika*, Tarsito, Bandung.
13. Sudjarwadi, Rachmad Jayadi, Suharto Tjojudo (1994), *Laporan Akhir Penelitian Sedimentasi Waduk PLTA Panglima Besar Sudirman*, Fak. Teknik UGM
14. Tri Antisto (2002), *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA PB. Soedirman*, PT. Indonesia Power UPB Mrica.
15. Suripin (2000), *Evaluasi Penggunaan Teknik Debit-Lengkung Sedimen dalam Memprediksi Sedimen Layang*, dalam : Jurnal dan Pengembangan Keairan No. 1 tahun 7 Juli 2000, hal. 35-43.

16. Widha Konsultan (1988), *Penelitian Erosi dan Sedimentasi DAS Serayu Proyek PLTA Mrica*.
17. Yang, C.T. (1996), *Sediment Transport Theory and Practice*, McGraw-Hill Company.